KELLY,
BINDER,
(15)
WER PLACE.

120
15.

Digitized by the Internet Archive
in 2020 with funding from
Wellcome Library

https://archive.org/details/s487id13663410

ANNUAIRE
SCIENTIFIQUE

SIXIÈME ANNÉE

1867

ROYAL COLLEGE OF SURGEONS OF ENGLAND

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

LES PROGRÈS DES SCIENCES EN 1866

ANNUAIRE SCIENTIFIQUE

PUBLIÉ PAR

P. P. DEHÉRAIN

DOCTEUR ÈS SCIENCES, LAURÉAT DE L'INSTITUT

PROFESSEUR DE CHIMIE A L'ÉCOLE CENTRALE D'ARCHITECTURE ET AU COLLÉGE CHAPTAL
CHARGÉ DE COURS A L'ÉCOLE IMPÉRIALE D'AGRICULTURE DE GRIGNON
VICE-SECRÉTAIRE DE LA SOCIÉTÉ CHIMIQUE DE PARIS
MEMBRE DE LA SOCIÉTÉ PHILOMATHIQUE

AVEC LA COLLABORATION DE MM.

Baron ERNOUF; **A. GUILLEMIN**, auteur du *Ciel*; **Dr MAREY**, lauréat de l'Institut
MARGOLLÉ, ancien officier de marine;
MENU DE SAINT-MESMIN, préfet général des études au collége Chaptal;
G. RAYET, astronome à l'Observatoire de Paris;
E. SAINT-EDME, préparateur de physique au Conservatoire des arts et métiers
P. SCHWÆBLÉ, ingénieur, ancien officier d'artillerie
L. SIMONIN, ingénieur, professeur à l'Ecole centrale d'architecture:
G. TISSANDIER; **Dr U. TRÉLAT**, chirurgien des hôpitaux;
E. VIGNES, professeur suppléant au collége Chaptal;
Dr JULES WORMS; **ZURCHER**, ancien officier de marine.

SIXIÈME ANNÉE

1867

1866

PARIS

VICTOR MASSON ET FILS

PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE

Tous droits réservés

PREMIÈRE PARTIE

SCIENCES PURES

ASTRONOMIE

I

LA LUNE

SES INFLUENCES SUR LA TERRE ET EN PARTICULIER SUR SON MOUVEMENT DE ROTATION.

Il n'y a certes pas d'astre au ciel qui ait, autant que la Lune, exercé la verve des hommes d'imagination et des faiseurs d'hypothèses. Je ne parle point ici des poëtes qui ont le privilége incontesté de métamorphoser au gré de leur inspiration les choses de la terre et celles du ciel, et qui sont toujours dans le vrai, quand leurs fables sont la traduction sincère et passionnée de leurs émotions. Mais, lorsqu'il s'agit de science, nous sommes en droit d'exiger de ceux qui se proposent de nous révéler les secrets de la nature, autre chose que des hypothèses, si séduisantes qu'elles puissent paraître au premier abord.

Il est assez étrange que ce soit le corps céleste le plus voisin de nous, le plus accessible à la vue simple et aux investigations télescopiques, qui ait prêté le plus aux fantaisies des esprits dont nous parlons. Il n'est pas de rêve, si extravagant, si chimérique soit-il, qu'ils n'aient débité sur le compte de notre satellite, pas d'influence, si mystérieuse soit-elle, qu'ils ne lui aient bénévolement attribuée. Est-ce pour cela qu'on donne le nom de *lunatiques* aux

personnes qui sont plus ou moins privées de leur raison? Arago, qui se pose cette question sérieusement, ajoute : « J'ai trouvé que beaucoup de savants éminents, que des savants très-sages et très-réservés dans leurs conceptions, se laissaient aller à une grande exaltation, à d'incroyables singularités toutes les fois que la Lune les occupait. » Il faut avouer que de toutes les influences attribuées à notre satellite, celle-là, si elle était réelle, ne serait pas la moins bizarre.

Une histoire détaillée de tous les romans qui ont eu la Lune pour objet, depuis les naïves idées des anciens philosophes, jusqu'aux rêveries de Cyrano de Bergerac, jusqu'aux récentes élucubrations de feu Mathieu de la Drôme, ne laisserait pas que d'être intéressante, et formerait à coup sûr un chapitre bien rempli dans le tableau des aberrations de l'esprit humain. Mais, outre qu'une telle histoire demanderait une érudition beaucoup plus étendue que la nôtre, ce n'est pas même l'ébauche d'un travail de ce genre que nous avons en vue dans cette notice. Ce sont les influences démontrées ou possibles de la Lune sur notre planète que nous nous proposons de passer en revue, non ses influences supposées ou occultes. Notre but est d'essayer de faire comprendre la possibilité d'une influence, non pas nouvelle, mais nouvellement découverte, en vertu de laquelle le mouvement de rotation de la Terre serait progressivement ralenti.

Avant de procéder à cet examen, résumons en quelques lignes les données que la science possède sur la Lune, ses mouvements et sa constitution physique.

La Lune est un globe de dimensions notablement inférieures à celles de la Terre. Son diamètre vaut un peu plus du quart du diamètre de l'équateur terrestre, et son volume est la cinquantième partie environ du volume de notre globe. Il est vrai que la densité de la matière dont elle est formée est moindre que la densité moyenne de la Terre, ce qui fait que sa masse est proportionnellement moindre encore; cet élément, qui joue un rôle si important dans les mouvements de l'astre et dans ceux des corps qui l'avoisinent, comparé à la masse de notre planète, est soixante-quinze fois moindre. En un mot, s'il était possible de peser ces immenses corps dans une balance, l'un des plateaux supportant la Terre, il faudrait, pour l'équilibrer, mettre dans l'autre plateau soixante-quinze globes de même poids que la Lune. Comparée à la

masse du Soleil, la masse de notre satellite semble énormément plus faible encore, puisqu'elle n'en est pas la vingt-six millionième partie. Nous verrons cependant que l'action de la Lune sur la Terre est plus forte que celle du Soleil; la raison en est dans la grande différence qui existe entre les distances de notre planète à chacun des deux astres en question.

La Lune est, en effet, très-voisine de nous, près de quatre cents fois plus rapprochée de la Terre que le Soleil lui-même. Imaginons que la Terre roule sur la circonférence de son équateur dans la direction de notre satellite, comme une boule roule sur un plan; après neuf tours et demi, elle arriverait à la Lune. Cela revient à dire que la distance des centres des deux corps est en moyenne de quatre-vingt-seize mille lieues.

Cette faible distance et la lumière très-vive que la surface de la Lune réfléchit vers nous expliquent la facilité avec laquelle nous pouvons distinguer les moindres aspérités de son sol. Aussi la géographie lunaire est-elle admirablement connue, et il n'est pas une région de l'hémisphère unique qu'elle tourne vers nous, dont les montagnes, les collines et les vallées ne soient mieux déterminées de position que mainte portion des continents terrestres. Cela semble chose merveilleuse, n'est-ce pas, qu'à cent mille lieues de la Terre, un globe inaccessible se trouve ainsi pesé, mesuré, décrit, avant que les opérations du même genre soient chez nous complétement terminées, et cependant c'est chose toute simple, avec les admirables et puissants instruments dont l'optique a doté les astronomes. Grâce à ces moyens d'investigation, une exploration du sol de la Lune se fait tranquillement, sans danger autre, du moins, que celui d'attraper quelques rhumatismes ou de perdre la vue[1], tandis que les hardis voyageurs qui entreprennent, au risque de continuels périls, de livrer à la géographie quelques lambeaux de l'Australie ou de l'intérieur de l'Afrique, ont à surmonter mille obstacles.

[1] Mædler, qui a publié de concert avec G. Beer, le frère de l'illustre Meyerbeer, un magnifique ouvrage sur la topographie de la Lune, ainsi que la carte la plus complète de notre satellite, est aujourd'hui, si nos renseignements sont exacts, affligé d'une cécité absolue. Il est certain que les longues veilles, assidûment consacrées pendant des années entières, à l'observation et à la mesure de tous les accidents que présente la surface du disque lunaire, sont la cause première de cette noble infirmité.

La lumière de la Lune est assez forte pour supporter des grossissements de mille à douze cents fois appliqués aux télescopes de grande ouverture. Avec de tels auxiliaires de la vue, on voit avec une grande netteté les détails des montagnes de la Lune, dont la surface nous apparaît ainsi comme si nous n'en étions plus qu'à une distance de quatre-vingts lieues. A la vérité, il est une circonstance qui rend l'observation très-facile. La Lune ne possédant pas d'atmosphère, ou, si elle est entourée d'une enveloppe gazeuse d'une excessive ténuité, n'étant jamais recouverte de nuages ou de toute autre masse vaporeuse, il en résulte que rien, si ce n'est les impuretés de notre propre atmosphère, ne vient jamais ternir la pureté des contours des taches qui parsèment son disque. Les ombres que projettent ces montagnes à l'opposé du Soleil sont toujours noires et tranchées. L'observateur qui suit ces ombres dans le cours des phases de la Lune voit la lumière envahir progressivement les régions obscures de son disque. C'est un spectacle véritablement imposant d'apercevoir peu à peu les sommets des pics, ou les enceintes des nombreux cratères, émerger de la nuit profonde où ils se trouvaient plongés, tandis que l'ombre recouvre encore les plaines avoisinantes.

Il n'est pas douteux, à l'aspect des formes qui caractérisent les montagnes de la Lune, qu'elles ont une origine volcanique, soit qu'elles constituent de véritables foyers d'éruption, soit qu'on les considère comme les boursouflements d'une matière primitivement liquide ou pâteuse. Tout n'est pas dit, du reste, à cet égard, il s'en faut de beaucoup; les astronomes et les géologues n'ont fait qu'effleurer encore l'histoire de la formation du sol de la Lune. Mais, en passant, nous devons mentionner une étude intéressante[1] due à un astronome contemporain, M. Chacornac, où ce savant expose les raisons qui lui font distinguer, sur le sol lunaire, trois époques principales, trois âges de formation des cratères et des cirques.

Quelques mots maintenant, avant d'aborder le sujet de cette notice, sur les mouvements de la Lune. Ils nous sont indispensables pour nous faire une idée nette de la question.

[1] *Note sur les apparences de la surface lunaire*, par M. Chacornac. (Extrait des Mémoires de la Société d'agriculture, d'histoire naturelle et des arts utiles de Lyon. 1864.)

La Lune accompagne la Terre dans son mouvement de translation autour du Soleil, et décrit ainsi dans l'espace une courbe sinueuse assez compliquée, une sorte d'épicycloïde; mais cette courbe paraît beaucoup plus simple et régulière, quand on l'étudie relativement à la Terre seule, c'est-à-dire quand on fait abstraction du mouvement de notre planète. On reconnaît alors que c'est une ellipse dont la Terre occupe un des foyers.

Tout le monde sait que c'est à cette circulation périodique de la Lune autour de notre globe que sont dues les apparences des phases. Un des hémisphères lunaires est à tout instant éclairé par le Soleil, tandis que l'autre est dans l'ombre; mais, suivant les positions relatives des trois corps, ce sont des portions variables de la partie obscure et de la partie éclairée qu'il nous est permis d'apercevoir. De là, la lunaison qui dure environ vingt-neuf jours et demi.

Tandis que la Lune présente ainsi successivement au Soleil toutes ses faces pendant la durée d'une lunaison, elle met deux jours de moins, à peu près, pour achever l'une de ses révolutions autour de la Terre; en un mot, elle parcourt son orbite en vingt-sept jours un tiers seulement. Mais la vitesse avec laquelle elle se meut dans cette courbe est variable avec sa distance à la Terre, plus petite quand elle est plus éloignée de nous, plus grande, au contraire, quand elle est plus rapprochée, suivant ainsi la seconde loi découverte par Képler, loi qui régit, d'ailleurs, les mouvements de toutes les planètes et de leurs satellites.

C'est encore à la circulation de la Lune autour de la Terre que sont dus les phénomènes des éclipses, dont la cause est aujourd'hui si connue, qu'on me permettra de ne m'y point arrêter. J'insisterai seulement sur un point d'une grande importance, et qui intéresse directement, comme on le verra plus loin, la question qu'il s'agit d'exposer. Aujourd'hui, grâce aux progrès qu'ont faits concurremment les observations et les théories astronomiques, on possède des Tables du mouvement de la Lune assez précises pour qu'on puisse en déduire, non-seulement les positions prochaines de notre satellite sur la voûte céleste, mais les positions futures ou les positions anciennes les plus éloignées de nous. Les astronomes sont donc en mesure de calculer l'époque exacte où telle éclipse de Lune ou de Soleil aura lieu, ou, si l'on veut, a eu lieu. Il y a plus : ils peuvent en déterminer toutes les circon-

stances. Par exemple, quand une éclipse totale de Soleil se produit, les mouvements simultanés de la Lune et de la Terre font que notre satellite promène son cône d'ombre, pendant toute la durée du phénomène, sur des régions déterminées de notre globe. Eh bien, s'il s'agit d'une éclipse de ce genre prédite pour telle ou telle année de l'un des siècles qui suivront le nôtre, non-seulement les Tables de la Lune permettent de calculer dès maintenant le jour et l'heure où commencera le phénomène, mais encore de préciser les régions de la Terre qui se trouveront atteintes par le cône d'ombre de notre satellite. Le même problème se résoudrait avec la même facilité, s'il s'agissait d'une éclipse totale de Soleil des siècles passés.

Voyons maintenant quelle est la nature des influences constatées par l'observation et démontrées par la théorie, que la Lune exerce sur notre planète.

I

INFLUENCES DE LA LUNE SUR LA TERRE.

La Lune agit sur la Terre par sa masse.

Depuis que Newton a déduit des lois de Képler et de la théorie des forces centrales d'Huygens le grand principe de la gravitation universelle, et montré que la force qui retient la Lune dans son orbite est cette même pesanteur se manifestant à la surface de la Terre par la chute des corps graves, non-seulement les mouvements généraux des corps célestes, mais les particularités les plus délicates de ces mouvements, les moindres perturbations reconnues par l'observation ont reçu de ce principe même des explications si rigoureuses, que ce qui parut d'abord une exception à la loi en est devenu la confirmation la plus éclatante.

Par exemple, le phénomène de la précession des équinoxes, reconnu, il y a deux mille ans, par Hipparque, celui de la nutation découvert par Bradley en 1745, desquels on a conclu que l'axe de la Terre décrit un cône en vingt-six mille ans autour du pôle de l'écliptique et oscille en même temps de part et d'autre de ses positions moyennes, ces deux mouvements, dis-je, paraissaient bien étrangers au mouvement de rotation de la Terre. Ils y sont

liés cependant de la façon la plus intime, comme d'Alembert le fit voir dans ses belles théories de la nutation et de la précession, et c'est la gravitation qui rattache entre eux tous ces mouvements.

En effet, c'est le mouvement de rotation de notre globe et la force centrifuge développée par ce mouvement qui l'aplatit à ses pôles et a produit ainsi, à l'époque reculée où la masse de la Terre était encore liquide ou pâteuse, le bourrelet ou renflement de ses régions équatoriales. D'autre part, la force de gravitation dont les masses du Soleil et de la Lune sont douées agit sur ce bourrelet même, comme si toutes les molécules qui le composent étaient autant de satellites de la Terre; mais, comme ces molécules sont liées au reste du globe, les actions réunies des deux astres éprouvent une résistance qui modifie leur influence et qui produit sur l'axe de la Terre la lente rétrogradation des points équinoxiaux, ainsi que l'oscillation de la nutation.

Dans les deux cas, la masse de la Lune agit sur la Terre; mais tandis qu'elle ne fait que concourir avec le Soleil pour produire la précession, elle seule détermine le mouvement périodique de la nutation terrestre.

Un autre genre d'action de la masse lunaire, dont tout le monde peut observer chaque jour les effets, ce sont les marées. A peu près deux fois par jour, toutes les 12 heures 25 minutes, il se produit sur toute l'étendue des mers une intumescence liquide, la marée haute, qui fait place au bout de six heures environ à une dépression du niveau, ou à la marée basse : cette intumescence se propage à la surface de l'Océan dans un sens précisément inverse de la rotation de la Terre. La régularité de ces mouvements, leur coïncidence avec le mouvement diurne de la Lune sur l'horizon de chaque port, le retour périodique des grandes marées après chaque syzygie, c'est-à-dire aux époques où la Lune et le Soleil occupent les mêmes positions relativement à la Terre, et en ligne droite avec celle-ci, avaient fait soupçonner depuis longtemps que la cause des marées est dans le Soleil et dans la Lune. « *Causa*, dit Pline, *in sole lunaque.* » Képler et Descartes entrevirent l'explication du phénomène; Newton le rattacha définitivement à la théorie de la gravitation. Mais il fallut tout le génie, toute la pénétration des grands géomètres du siècle suivant pour résoudre ce grand problème. D. Bernouilli, Euler, d'Alembert, Maclaurin et enfin Laplace en portèrent la solution,

non pas au plus haut degré de perfection, puisque la théorie des marées occupe encore aujourd'hui les analystes, mais à un degré suffisant, pour qu'on puisse calculer et prédire à l'avance les principales circonstances du phénomène.

Il n'est pas douteux qu'il y ait des marées atmosphériques, comme il y a des marées océaniques. Seulement l'action de la Lune sur l'enveloppe gazeuse de la Terre est assez faible pour qu'il n'en résulte que des variations presque insensibles dans la hauteur de la colonne barométrique.

C'est ce que les prophètes du temps qui basent leurs prédictions sur l'influence de la masse de la Lune, ne savent pas assez. Laplace qui a traité cette question par l'analyse prouve que l'étendue des oscillations du baromètre dues à l'action du Soleil et de la Lune n'est pas d'un millimètre à l'équateur même où elle atteint sa valeur maximum. D'autre part, il résulte de près de cinq mille observations du baromètre faites par Bouvard, de 1815 à 1823, que la grandeur maximum du flux lunaire atmosphérique, n'équivaut pas, à Paris, à une variation d'un dix-huitième de millimètre dans la hauteur de la colonne de mercure. Enfin, nous devons mentionner encore les travaux de M. A. Perrey, professeur à la Faculté des sciences de Dijon. Ce savant est disposé à croire que la Lune exerce aussi une influence marquée sur la partie fluide du noyau terrestre. En un mot, il y aurait des marées souterraines qui se manifesteraient à nous par les secousses périodiques des tremblements de terre. Les lecteurs de l'*Annuaire scientifique* trouveront sur ce sujet des détails intéressants donnés par notre collaborateur M. de Fonvielle[1].

Voilà pour les actions de la masse de la Lune sur notre globe, actions que confirment à la fois les observations et la théorie. Pour épuiser ce sujet intéressant de l'influence de notre satellite, il faudrait parler encore de celles que peuvent exercer la lumière et la chaleur rayonnées par le globe lunaire dans l'espace. L'une et l'autre ont été constatées : Melloni a fait à Naples des expériences qui ont été confirmées par celles de Piazzi Smyth au pic de Ténériffe et qui démontrent que la chaleur rayonnée par la Lune n'est pas, après son trajet dans les couches atmosphériques, tout à fait insensible. Le dernier de ces savants a trouvé que l'effet de ses rayons équi-

[1] Voyez l'*Annuaire scientifique* de 1863, p. 185.

valait au tiers de la chaleur émise par une bougie à 4^m 6 de distance. Il est possible que les couches supérieures de l'atmosphère terrestre, recevant les rayons de la Lune avant que leur chaleur soit absorbée, en éprouvent des effets plus marqués : c'est ainsi que quelques météorologistes expliquent le fait, contesté par d'autres, de la dispersion des nuages par la Lune, que les marins expriment par ce dicton : *la Lune mange les nuages.*

Enfin, la lumière de la Lune a une action chimique incontestable, puisque c'est à cette action que sont dues les photographies représentant diverses phases avec tous les détails de la structure de son sol.

II

PERTURBATIONS DU MOUVEMENT DE LA LUNE.

Si la masse de la Lune agit sur la Terre, à son tour la masse de notre planète agit sur la Lune. C'est la pesanteur terrestre qui détermine son mouvement périodique autour du centre de gravité commun.

Mais il n'est pas douteux que la pesanteur de la Terre a dû contribuer aussi à maintenir le globe lunaire dans la position singulière qu'on lui connaît, position telle que c'est toujours le même hémisphère, à peu de chose près, qu'il tourne vers nous. A l'origine, la Lune étant fluide, hypothèse que rend fort probable la structure de son écorce, prit, sous l'influence de la gravité terrestre et de son mouvement de rotation, la forme d'un ellipsoïde à trois axes, le plus petit de ses axes étant celui qui passait par les pôles de rotation, le plus grand dirigé vers la Terre et l'axe moyen perpendiculaire aux deux autres. S'il y avait eu, entre les durées des mouvements de rotation et de révolution de la Lune, une grande différence, l'attraction de la Terre n'eût pas eu assez d'énergie pour vaincre la tendance de l'ellipsoïde à osciller comme un pendule autour de son grand axe, et nous aurions vu successivement toutes les faces du globe lunaire. Il est probable que cette différence était d'abord très-petite, et que la prépondérance de l'action de la Terre a fini par établir l'égalité parfaite de durée des deux mouvements

La Lune, tout concourt à le prouver, ne renferme ni eau, ni

autre liquide, du moins à sa surface, puisque l'extrême rareté de son atmosphère, si elle possède toutefois une enveloppe de ce genre, jointe à l'action de la chaleur du Soleil, produiraient une réduction immédiate des masses liquides en vapeurs; et, de deux choses l'une : ou bien ces vapeurs auraient une constitution vésiculaire, ce qui permettrait de les observer de la Terre; ou bien, elles seraient d'une parfaite transparence, ce qui les rendrait, il est vrai, invisibles, mais ne pourrait leur ôter leur réfringence. Or, l'observation dément l'une et l'autre de ces hypothèses.

La Lune n'a donc pas de marées comme notre globe. Du reste, si notre satellite était recouvert d'une masse liquide, l'attraction de la Terre n'imprimerait à cette masse aucune oscillation comparable à celle du flux et du reflux, mais seulement une protubérance à peu de chose près permanente. C'est là, nous venons de le dire, ce qui existait à l'époque primitive de la fluidité de la Lune, et la seule différence avec l'état actuel tient à ce que la protubérance s'est progressivement solidifiée.

Telles sont les seules influences exercées par notre globe sur son satellite; et il est clair que la régularité des mouvements de la Lune n'en est aucunement troublée. Mais la Terre et la Lune n'existent pas seules dans l'espace : sans parler des autres planètes dont les masses n'agissent qu'indirectement sur la Lune, il y a la masse prépondérante du Soleil, qui trouble périodiquement la régularité dont nous parlons et qui rend la théorie des mouvements lunaires la plus complexe, la plus ardue de toutes les théories astronomiques.

Si le Soleil était à une distance qu'on pût considérer comme infinie, sa masse agissant également et sur la Lune et sur la Terre, suivant des directions parallèles, le mouvement relatif de la planète et de son satellite n'éprouverait aucune perturbation. Mais il n'en est pas ainsi : en tournant autour de la Terre, la distance de la Lune au Soleil varie, plus grande dans ses oppositions, plus petite au contraire dans ses conjonctions. La différence de ces distances comparée à la distance totale est sensible, puisqu'elle s'élève en moyenne à peu près à la deux-centième partie de la distance qui sépare la Terre du Soleil. Que résulte-t-il de ces changements de distance? C'est ce qu'on comprendra aisément, si l'on se rappelle que la force de la gravité diminue quand la distance augmente, s'accroît, quand cette dernière diminue.

A l'époque de la conjonction ou de la nouvelle Lune, la Lune est plus rapprochée du Soleil que la Terre : la force attractive du Soleil agit avec une intensité plus considérable sur la masse lunaire que sur la masse terrestre, ce qui équivaut à une diminution dans la pesanteur de la Lune vers la Terre. Le contraire arrive à l'époque de la conjonction : c'est la Terre qui est plus attirée que la Lune. Mais l'effet produit est le même, puisqu'il en résulte toujours une augmentation dans la distance des deux astres. Dans les deux cas, la vitesse du mouvement de la Lune dans son orbite est altérée.

Aux quadratures, l'action perturbatrice du Soleil est à peu près nulle, parce qu'alors la planète et son satellite sont sensiblement à la même distance du corps central, et que l'attraction agit sur chacune d'elles dans des directions qu'on peut considérer comme parallèles.

Mais cette influence du Soleil, qui modifie le mouvement de la Lune à l'époque des syzygies, conserverait une valeur constante dans la suite des révolutions synodiques, si la distance de la Terre au Soleil ne variait pas, si notre globe se mouvait dans une orbite circulaire. Or, on sait qu'il n'en est rien, que la Terre décrit une courbe elliptique ou ovale, de sorte que sa distance au Soleil varie incessamment, s'accroît depuis le 1er janvier jusqu'au 1er juillet, pour diminuer en sens inverse dans la seconde moitié de l'année. La Lune accompagnant la Terre dans sa circumnavigation céleste, son mouvement subit le contre-coup de ces variations.

La Terre est-elle à son périhélie, à sa plus courte distance du Soleil, la perturbation causée par la masse de cet astre est plus sensible, l'orbite lunaire est dilatée. Elle se contracte au contraire à l'époque de l'aphélie ou du plus grand éloignement. De là, l'inégalité connue sous le nom d'*équation annuelle*, parce qu'elle se manifeste périodiquement à chacune des révolutions de la Terre.

Nous allons voir maintenant une fois de plus par quel merveilleux enchaînement des effets et des causes sont liés tous les phénomènes astronomiques, en apparence les plus étrangers. Le système solaire ou planétaire forme un ensemble admirable de corps, dont les mouvements, dus à une commune cause, la gravitation, subissent par les actions réciproques des masses, des séries d'oscillations qui se pondèrent mutuellement, et, bien loin de détruire l'harmonie générale, concourent au contraire à la stabilité

du système. Les géomètres ont nommé ces oscillations périodiques et séculaires des *perturbations*, et ils n'ont point eu tort, parce que procédant nécessairement, pour résoudre le grand problème de la mécanique céleste, du simple au composé[1], ils se sont attachés d'abord à attaquer par l'analyse les cas les moins compliqués, introduisant peu à peu toutes les données dans l'ordre de leur importance. Mais, à voir l'enchaînement dont nous parlons, ce mot de *perturbations* sonne mal aux oreilles des personnes qui n'ont pu s'élever jusqu'à ces sommets de la théorie, et l'on voudrait lui en substituer un qui exprimât la magnifique concordance des particularités les plus délicates des mouvements célestes avec la cause qui les produit.

Nous venons de dire comment l'orbite de la Lune subit, sous l'influence de la masse du Soleil, des oscillations qui dépendent de l'excentricité de l'orbite de la Terre. Or, cette excentricité n'est pas invariable, ou, si l'on veut, la courbe décrite par notre globe autour du Soleil, change de forme avec les siècles ; peu à peu, pour le moment, du moins, elle se rapproche de la forme d'un cercle. Dans des millions d'années, ce changement prendra un sens opposé. Ce sont les masses des diverses planètes qui produisent la variation dont nous parlons, en modifiant l'attraction que le Soleil exerce sur la Terre. Mais une variation de ce genre ne peut avoir lieu sans que l'inégalité lunaire, dont il vient d'être question, en soit affectée. En somme, l'accélération et le ralentissement que le mouvement de la Lune subit alternativement, chaque année, ne se compensent pas rigoureusement, et c'est l'accélération qui l'emporte.

De là, l'inégalité à longue période, à laquelle les astronomes donnent le nom d'*accélération séculaire* du mouvement de la Lune. L'observation l'avait découverte avant que la théorie en rendît compte, et c'est à l'astronome anglais Halley que la science doit cette constatation, comme aussi c'est à Laplace que revient l'honneur d'en avoir découvert la cause.

Dire que la Lune accélère son mouvement dans la suite des siècles, c'est, en vertu des lois de Képler, reconnaître qu'elle se rap-

[1] La méthode analytique consiste à ramener la solution d'un problème complexe à celles de problèmes de plus en plus simples, jusqu'à ce qu'on arrive à une question dont la solution est connue : on remonte alors de cette

proche peu à peu de notre globe. Faut-il en conclure qu'à la fin cette diminution de distance amènera la réunion de la planète et de son satellite? Une telle catastrophe, qui serait certainement la révolution la plus prodigieuse, disons le mot, la fin de notre monde, est-elle destinée à s'accomplir un jour? Non, que les imaginations se rassurent.

D'ailleurs, si cette réunion des deux globes devait avoir lieu, avant que l'événement final se réalisât, il y aurait bien d'autres bouleversements sur la Terre. Les marées, augmentant progressivement d'intensité, submergeraient les continents, et la masse des eaux de l'Océan, battant les côtes avec une effrayante énergie, réduiraient les roches en poussière. Heureusement, je le répète, de tels désastres ne sont point à craindre, car l'accélération de la Lune, causée par la variation de l'excentricité terrestre, diminuera à mesure que s'affaiblira cette variation même, pour se changer en un ralentissement séculaire, quand l'excentricité croîtra.

La question de l'accélération séculaire du mouvement de la Lune a été, dans ces derniers temps, l'objet de vives discussions entre les astronomes géomètres. Quand Laplace découvrit la cause de cette inégalité, il dut s'assurer que le résultat du calcul était d'accord avec celui des observations tant anciennes que modernes. Le moyen de contrôle adopté par lui et par ses successeurs était fourni par les plus anciennes observations d'éclipses de Soleil dont l'histoire ait conservé des données précises. Or, l'accord dont il s'agit sembla d'abord suffisamment établi pour qu'il n'y eût pas lieu de revenir sur le problème. La valeur de l'accélération correspondante était fixée à dix ou douze secondes d'arc, par siècle. Telle était la très-petite quantité qui a donné lieu récemment, nous venons de le dire, à une controverse sérieuse.

Un géomètre anglais d'un grand mérite, M. Adams, celui qui parvint, il y a vingt ans, à déterminer, en même temps que M. Le Verrier, les éléments de la planète alors inconnue, Neptune, reprit à nouveau le problème de Laplace, introduisit dans son analyse des conditions qui avaient été négligées par ses devanciers, et parvint finalement, au jugement de tous les géomètres compétents,

dernière au problème posé dans sa généralité. Ainsi, l'on procède d'abord du composé au simple, pour reprendre ensuite la marche inverse, mais il est bien évident que ce sont les cas les plus faciles qui reçoivent les premiers une solution.

à trouver la véritable valeur de l'accélération séculaire, égale seulement à 6″, c'est-à-dire inférieure de moitié à celle qu'Hansen avait adoptée pour ses Tables de la Lune.

Les calculs de M. Adams, je le répète, furent jugés rigoureux, et la théorie se trouve avoir accompli un réel progrès. Mais d'autre part, il ne parut pas moins évident que le nombre de Laplace, modifié par Hansen, était le seul vraiment compatible avec les observations d'anciennes éclipses.

Qui avait raison, de l'observation ou de la théorie? M. Adams tint bon, et il fit bien, puisque son analyse est supérieure à celles qui la précédèrent. M. Hansen tint bon, et il fit bien, car ayant surtout en vue, dans la construction de ses Tables, cette condition essentielle de représenter les observations aussi parfaitement que possible, il ne pouvait préférer une rigueur toute idéale à la valeur pratique sans laquelle de tels travaux sont faits pour ainsi dire en pure perte.

La contradiction est flagrante; il s'agissait, soit de la faire disparaître, soit, ce qui revient d'ailleurs au même, de l'expliquer.

Un astronome français, bien connu par ses immenses travaux sur la théorie des mouvements et des inégalités de la Lune, M. Delaunay, publia dans la *Connaissance des Temps pour* 1864, un mémoire spécial sur cet important problème de l'accélération séculaire. Les conclusions sont, quant à la valeur de l'accélération, conformes à celles de M. Adams; mais le savant académicien n'admettait point d'abord qu'il y eût un réel désaccord entre les anciennes observations et la théorie. Suivant lui, la cause assignée par Laplace était suffisante pour expliquer la totalité du phénomène; mais cette affirmation, ou mieux cette opinion, ne lui semblait pas tellement justifiée qu'il ne fît à ce sujet la réserve suivante :

« Enfin, dit-il, pour éclairer la question à ce point de vue, il est indispensable qu'on reprenne les recherches sur les éclipses chronologiques, en partant de la valeur 6″11 que la théorie indique comme étant celle de l'accélération séculaire due à la cause trouvée par Laplace. »

La question en était là, vers la fin de l'année dernière, quand M. Delaunay, dans une communication faite à l'Académie, la posa tout à coup sur un autre terrain.

III

INFLUENCE DE LA LUNE SUR LE MOUVEMENT DE ROTATION DE LA TERRE.

Laplace, dans son *Exposition du système du monde*, après avoir résumé les principales inégalités lunaires et les avoir rattachées à la théorie de la gravitation, s'exprime en ces termes :

« L'accord de la théorie avec les observations nous prouve que si les moyens mouvements de la Lune sont altérés par des causes étrangères à la pesanteur universelle, leur influence est très-petite et jusqu'à présent insensible. Cet accord établit d'une manière certaine la constance de la durée du jour, élément essentiel de toutes les théories astronomiques. Si cette durée surpassait maintenant, d'un centième de seconde, celle du temps d'Hipparque, la durée du siècle actuel serait plus grande qu'alors, de 365″25 : dans cet intervalle, la Lune décrit un arc de 534″6 ; le moyen mouvement séculaire actuel de la Lune en paraîtrait donc augmenté de cette quantité, ce qui augmenterait de 13″51 [1] son équation séculaire pour le premier siècle à partir de 1801... Les observations ne permettent pas de supposer une augmentation aussi considérable ; on peut donc assurer que depuis Hipparque, la durée d'un jour n'a pas varié d'un centième de seconde. »

Toute l'astronomie est en effet basée, pratiquement et théoriquement sur cette invariabilité de la durée du jour sidéral, ou si l'on veut, sur l'uniformité et la constance du mouvement de rotation de la Terre. C'est la rotation diurne apparente de la sphère étoilée qui sert de régulateur et de contrôle aux instruments destinés à mesurer le temps dans les observatoires ; c'est grâce à l'invariabilité de l'unité fondamentale du temps qu'on est parvenu à mesurer avec une précision étonnante la durée de tous les phénomènes astronomiques, de la révolution de la Terre, comme de celle des autres planètes, et qu'on a pu calculer et prédire avec tant de précision les positions futures des astres et leurs situations relatives.

Laplace, on vient de le voir, est allé chercher la preuve de

[1] Il ne faut pas oublier que Laplace emploie toujours dans ses calculs la division décimale du jour et de l'angle droit.

l'invariabilité du jour sidéral, dans les phénomènes les plus délicats que la théorie ait calculés et dont l'observation ait confirmé l'existence réelle. Son raisonnement est irréprochable ; mais les conclusions sont tout entières basées sur le parfait accord de l'observation et de la théorie. Si cet accord n'existe pas, et nous venons de voir qu'il est en défaut, les conclusions tombent, et l'invariabilité du jour, au moins dans les limites calculées par l'illustre géomètre, reste à démontrer.

On demandera peut-être si les observations anciennes comportaient une précision assez grande pour qu'on put les prendre pour point de départ assuré dans d'aussi délicates recherches. S'il s'agissait d'observations autres que celles des éclipses de Soleil, l'objection serait fondée : les anciens n'avaient que de grossiers procédés de mesure, si on les compare aux procédés modernes. Mais, dans la question pendante, une telle précision n'est pas indispensable.

En effet, l'époque où a eu lieu une ancienne éclipse totale de Soleil étant donnée, il est permis, à l'aide des tables de la Lune, de déterminer avec une précision extrême toutes les circonstances du phénomène, de marquer par exemple sur un globe la trace que le cône d'ombre de la Lune a dû suivre sur la surface de la Terre, depuis le commencement jusqu'à la fin de l'éclipse. Les récits laissés par les historiens de plusieurs éclipses qui ont eu lieu dans le sixième et dans le quatrième siècle avant Jésus-Christ, ne donnent pas les heures des observations, mais les lieux où ces éclipses ont été vues, ce qui fixe un point de chacune des traces de l'ombre lunaire. Ces données suffisent pour savoir où en était notre globe de son mouvement de rotation. Laissons parler ici M. Delaunay, qui a expliqué de la façon la plus claire ce point important dans une conférence faite par lui à ce sujet « En une minute de temps, la Terre en tournant sur elle-même marche, en un point de son équateur, de vingt-huit kilomètres. En un point situé à une certaine distance de l'équateur, comme vers l'Asie Mineure, vers l'Espagne (c'est dans des positions analogues à celles que j'indique que les éclipses historiques ont été observées), il y a encore une marche de vingt-deux kilomètres par minute. Si l'éclipse s'était produite une minute plus tôt, la trace laissée par l'ombre de la Lune sur la surface de la Terre se serait trouvée éloignée du lieu où elle s'est produite en réalité, de vingt-deux kilomètres pour

l'Asie Mineure, de vingt-huit kilomètres pour un point de l'équateur. Cette trace se serait donc déplacée d'une quantité très-considérable sur la surface de la Terre; et quand nous savons par l'histoire que cette ombre, qui est très-peu large, a été aperçue dans tel point déterminé, cela nous indique la position exacte qu'occupait la Terre en ce moment, et nous avons la mesure du temps exactement de la même manière que si nous pouvions consulter une horloge au moment précis de la production du phénomène. »

Eh bien, la discussion des éclipses historiques prouve que ces phénomènes se sont produits en réalité plus tôt que la théorie ne l'indique, ce qui peut s'expliquer de deux manières, soit en supposant que la Lune a depuis accéléré son mouvement, soit en admettant que la vitesse de la rotation a diminué. Supposons en effet que, la rotation de la Terre restant constante, ce soit la Lune qui ait seule accéléré son mouvement. Qu'en résultera-t-il? Que l'intervalle de temps qui sépare l'une des éclipses en question de l'époque actuelle comprendra un nombre plus grand de révolutions synodiques de la Lune et, en définitive, se mesurera par un nombre de jours sidéraux terrestres plus grand que celui qu'on eût trouvé sans cette accélération. Si, au contraire, c'est le mouvement de rotation de la Terre qui s'est ralenti, le jour sidéral actuel ayant une durée plus grande que celle des jours sidéraux à l'époque de l'éclipse considérée, l'intervalle de temps écoulé entre les deux mêmes époques devrait former un total plus grand que si la durée de la rotation n'avait pas augmenté.

L'effet apparent est le même dans l'une ou l'autre hypothèse, et si l'on n'adoptait ni l'une ni l'autre, l'éclipse eût été observée plus tard qu'elle ne l'a été réellement. Le rayon terrestre et le rayon de l'orbite lunaire sont comme les deux aiguilles d'un cadran qui se meuvent avec des vitesses différentes, mais qui, au bout d'un temps donné, doivent par exemple revenir à la coïncidence. Si cette coïncidence n'a pas lieu en effet, on pourra faire deux suppositions également plausibles, ou que celle qui est en retard a ralenti son mouvement, sans que la vitesse de l'autre ait varié, ou que celle qui est en avance a seule accéléré sa vitesse.

Enfin, on pourrait aussi soutenir que l'effet total est dû, en partie au retard de la première, en partie à l'avance de la seconde. Dans la question du mouvement de la Lune, nous allons voir que

M. Delaunay penche pour cette troisième solution de la difficulté pendante.

L'accélération séculaire de la Lune rend compte, en effet, d'une partie de la différence signalée, mais de la moitié seulement. C'est pour expliquer l'excédant que M. Delaunay a émis l'opinion que cet excédant est le fait du ralentissement de la rotation terrestre.

Mais avant de produire une telle explication, le savant académicien dut chercher la cause mécanique ou physique du fait lui-même, sans quoi c'eût été une hypothèse toute gratuite, et la question de l'accélération séculaire de la Lune n'aurait pas fait un pas.

« Bien que je ne fusse pas entièrement convaincu, dit-il, que la valeur 6″ 11 de l'équation séculaire de la Lune, due à la cause que Laplace a trouvée, fût réellement incompatible avec les anciennes éclipses historiques, ainsi que je l'ai expliqué dans mon *Mémoire sur l'équation séculaire de la Lune*, inséré dans la *Connaissance des Temps de* 1864, j'ai beaucoup réfléchi à la manière dont on pourrait expliquer le désaccord entre la théorie et l'observation, en admettant que ce désaccord fût complétement mis hors de cause. »

Cette dernière réserve de M. Delaunay nous paraît pour le moins superflue ; car s'il est convaincu de la réalité de la cause qu'il a trouvée, si, d'autre part, ses calculs et ceux de M. Adams sont rigoureux, le désaccord, aujourd'hui complétement expliqué, devait forcément se produire avant l'explication.

Mais quelle est cette cause nouvelle trouvée par M. Delaunay ? Comment explique-t-il le ralentissement progressif de la rotation de la Terre, et l'apparente accélération du moyen mouvement de la Lune qui en est la conséquence ?

La force attractive de la masse de la Lune agissant sur les eaux de l'Océan, les soulève, nous l'avons dit, de manière à faire prendre à tout instant à leur masse totale la forme d'un ellipsoïde dont le grand axe serait constamment dirigé suivant le rayon vecteur qui unit les centres de la Lune et de la Terre, si le mouvement des eaux ne rencontrait aucune résistance. Comme, à mesure que la Lune se déplace par le fait de la rotation diurne, l'ellipsoïde liquide la suit dans son mouvement, ce déplacement continuel des eaux ne peut s'effectuer sans qu'il en résulte des frottements et

des résistances provenant soit des molécules elles-mêmes, soit des inégalités de toutes sortes que présente la surface sur laquelle les mers reposent. De là, un retard que les observations des marées constatent tous les jours, et en vertu duquel la haute mer n'arrive jamais qu'un certain temps après le moment du passage de la Lune au méridien.

En faisant abstraction des irrégularités locales, les choses se passent comme si la Lune était située, dans le ciel, en arrière de la position qu'elle occupe réellement eu égard au sens de son mouvement diurne. Voilà donc un fait dont l'explication est facile, mais qui n'emprunte rien à l'hypothèse : les deux protubérances liquides dont le mouvement successif produit les marées, ne sont pas dirigées suivant le rayon vecteur de la Lune, mais suivant une ligne constamment située à l'orient de cet astre.

Eh bien ! c'est l'action de la Lune, non plus sur l'ensemble de notre globe, supposé sphérique, mais sur ces deux protubérances inégalement distantes de l'astre qui, suivant M. Delaunay, produit le ralentissement de la rotation terrestre. « Si l'on se reporte, dit-il, à la manière dont on obtient la portion de l'action lunaire qui occasionne le phénomène des marées, on verra que la première de ces protubérances (la plus voisine de la Lune) est comme attirée par la Lune, et la seconde, au contraire, comme repoussée par le même astre : il en résulte donc un couple[1] appliqué à la masse du globe terrestre, et tendant à le faire tourner en sens contraire du sens dans lequel il tourne réellement, couple qui doit produire, d'après cela un ralentissement dans la rotation de ce globe. »

Telle est, en substance, la nouvelle théorie. Nous ne suivrons pas M. Delaunay dans les calculs provisoires à l'aide desquels il prouve que cette action de la Lune sur les protubérances des marées est loin d'être insensible, et peut expliquer l'excédant de l'accélération séculaire donné par les observations anciennes. Il suffit d'admettre que la masse d'eau formée par chaque protubérance équivaut à une couche de 1 mètre d'épaisseur, reposant sur une base circulaire de 675 kilomètres de rayon : une pareille couche,

[1] On sait qu'on donne, en mécanique, le nom de *couple* à tout système de deux forces parallèles, égales et contraires, agissant aux extrémités d'une même ligne droite.

appliquée sur la surface du globe, y occuperait une largeur d'environ 12 degrés de l'équateur.

A la vérité, le savant astronome s'est placé, pour effectuer ce calcul, dans une hypothèse beaucoup plus simple que celle de la réalité; mais on ne peut douter que l'effet réel produit par l'action de la Lune sur les eaux de l'Océan ne suffise pour produire le ralentissement nécessaire.

Les idées de M. Delaunay ont subi, comme cela devait être, diverses critiques plus ou moins fondées; mais aucune n'entame le principe qui leur sert de base. La pensée que le mouvement des marées est de nature à ralentir la rotation terrestre n'est pas nouvelle : le créateur de la théorie dynamique de la chaleur, le docteur Mayer, l'a émise dans un de ses ouvrages, et Tyndall l'a reproduite, d'après lui. Mais ce qui fait le mérite, l'originalité du travail de M. Delaunay, c'est, suivant ses propres expressions, d'avoir montré : 1° que le ralentissement résultant de cette cause est loin d'être insensible; 2° que là est l'explication du désaccord existant entre les observations des anciennes éclipses et la théorie de la gravitation, relativement à l'accélération séculaire du moyen mouvement de la Lune.

En résumé, la durée du jour sidéral n'est pas invariable, si l'on adopte la théorie de M. Delaunay, si entièrement appuyée par l'adhésion de l'illustre directeur de l'Observatoire de Greenwich, M. Airy[1]. Cette durée diminue, dans la suite des siècles, d'environ une seconde en cent mille années.

Si ce ralentissement conservait indéfiniment la même valeur, il est aisé de calculer l'époque où la vitesse de rotation serait totalement anéantie, et où la durée du jour se confondrait avec celle de l'année. Le jour sidéral étant composé de 86,400 secondes, il faudra 8,640 millions d'années pour produire l'arrêt complet de la Terre. Quatre-vingt-six millions quatre cent mille siècles! Vrai-

[1] Après une étude détaillée et approfondie de l'influence que le frottement des eaux de la mer dû aux marées peut avoir sur la rotation terrestre, M. Airy conclut en ces termes :

« Je suis très-heureux de donner mon entier assentiment aux vues générales de M. Delaunay sur l'existence d'une cause réelle pour le ralentissement de la rotation de la Terre. »

(*Monthly notices*, du 13 avril 1866.)

ment, d'ici là, nous et nos arrière-petits-neveux nous pourrons dormir tranquilles.

Mais, à dire la vérité, cela n'ira pas jusque-là. Et voici pourquoi. La vitesse de rotation de la Terre, diminuant toujours, arrivera à être égale à celle de la Lune dans son orbite, de sorte que la Terre présentera toujours le même hémisphère à son satellite, exactement comme il arrive aujourd'hui pour ce dernier. Mais alors les protubérances des marées n'auront plus de mouvement progressif; elles finiront donc par être aussi toujours dirigées vers la Lune, et l'action de cette dernière cessera de se traduire en un couple de ralentissement. M. Delaunay nous rassure encore d'une autre façon. La température de la Terre s'abaissant sans cesse, par l'affaiblissement de la chaleur du Soleil et l'excès du rayonnement calorifique de la Terre sur la chaleur reçue, il viendra un moment où cette température sera assez basse pour produire une congélation de toutes les mers. « Le phénomène des marées n'existera plus, la cause du ralentissement du mouvement de rotation disparaîtra, et la Terre continuera alors à tourner avec une vitesse constante. »

M. Delaunay n'oublie qu'un détail, auquel nous devons suppléer en terminant cet article : c'est qu'alors nos descendants, étant tous gelés, n'auront pas le plaisir ou le chagrin, comme on voudra, de vérifier l'exactitude de cette prédiction à longue échéance.

AMÉDÉE GUILLEMIN.

II

LA CONSTITUTION PHYSIQUE DES CORPS CÉLESTES

D'APRÈS L'ÉTUDE DE LEUR LUMIÈRE.

Les lecteurs de l'*Annuaire* savent quels progrès ont fait depuis quelques années, nos connaissances en astronomie physique. Les travaux les plus remarquables, principalement sur la constitution physique du Soleil et de Mars, leur ont été exposés par

M. Guillemin, nous nous garderons d'y revenir ; mais il nous a semblé qu'il y aurait quelque intérêt à résumer les idées admises aujourd'hui sur la nature et le mode de formation des corps célestes en général. L'apparition récente d'une étoile dans la constellation de la Couronne boréale donne un intérêt d'actualité à nos recherches.

Les corps célestes sont de deux sortes : les uns, la Terre et les planètes, ne brillent que d'un éclat emprunté ; les autres, comme le Soleil, les étoiles, les nébuleuses et peut-être les comètes, sont lumineux par eux-mêmes.

La constitution physique des astres obscurs est-elle semblable à celle de notre terre ? Les corps lumineux sont-ils tous de même nature ? Sont-ils des soleils, plus ou moins brillants, et parvenus à une période plus ou moins avancée de leur existence ?

L'analyse spectrale de la lumière de ces corps célestes nous fournira la solution de ces questions.

Les travaux de Bunsen et Kirchhoff ont déjà été analysés dans l'*Annuaire* ; nous n'avons donc qu'à faire l'application de leurs principes à l'étude des corps célestes. Sans doute il n'est point démontré d'une manière mathématique que les phénomènes physiques sont soumis aux mêmes lois dans toutes les régions de l'espace ; mais le progrès général des sciences nous familiarise chaque jour davantage avec cette idée que les mêmes effets sont dans tous les cas produits par les mêmes causes. Et puis quand bien même la conception à laquelle nous arriverons serait erronée, elle servira toujours à porter l'attention sur certains faits encore mal connus, et à relier entre elles certaines observations, dont l'interprétation plus complète amènera peut-être à la connaissance de la constitution véritable des systèmes stellaires. C'est en effet un privilége remarquable de toutes les théories physiques basées sur l'observation qu'elles conduisent toujours à des découvertes importantes, car elles excitent les esprits et guident les recherches.

I

Procédés pour l'analyse spectrale des corps célestes.

Le grand éloignement, le peu d'éclat des étoiles ou des planètes, dont on veut analyser la lumière, oblige à employer des

méthodes et des appareils assez différents de ceux en usage dans les laboratoires de chimie pour l'étude des flammes colorées. Les physiciens qui se sont occupés de spectroscopie astronomique ont toujours pris pour source lumineuse, non pas l'astre lui-même, mais son image formée au foyer principal d'un objectif de grand diamètre monté équatorialement et conduit par un mouvement d'horlogerie réglé de manière à le suivre dans sa rotation diurne. L'image réelle de l'objet céleste étant alors considérée comme source lumineuse, on place derrière elle une lentille servant de collimateur, puis un ou plusieurs prismes, et enfin une petite lunette astronomique à l'aide de laquelle on examine le spectre. Cette dernière partie de l'appareil ne diffère pas du spectroscope ordinaire tel qu'on le construit pour les usages de la chimie.

Si l'appareil équatorial est dirigé vers une étoile, l'image focale de l'astre est un point mathématique[1] et le spectre obtenu n'a pas de hauteur sensible. Dans ces conditions l'examen en est presque impossible. Pour l'étudier avec facilité, on le dilate dans le sens transversal en plaçant dans la lunette, en avant du foyer principal de l'objectif, une lentille cylindrique achromatique à court foyer qui transforme l'image de l'étoile en un trait lumineux de petite longueur. Les conditions sont alors celles de la formation d'un spectre avec la lumière qui traverse une fente et le spectre prend une largeur appréciable. Au lieu d'allonger l'image de l'étoile on peut dilater le trait lumineux que donne directement le spectroscope, en plaçant la lentille cylindrique dans l'oculaire de la lunette spectrale; cette dernière disposition, préférable, dans une certaine mesure, à la précédente, a été employée à l'observatoire de Paris par M. Wolf et moi dans quelques recherches sur la nouvelle étoile variable de la Couronne boréale.

Dans le cas des planètes ou des nébuleuses dont l'image objective a un diamètre sensible, la lentille cylindrique doit être supprimée et remplacée par une fente très-étroite. Avec cette disposition on peut examiner la lumière provenant d'une région déter-

[1] En réalité l'image de l'étoile est formée d'un point central très-lumineux et d'une série de cercles de diffraction alternativement brillants et obscurs; aussi le spectre de l'étoile est-il toujours sillonné, dans le sens de la longueur, par des bandes relativement obscures. Chacune de ces bandes répond à un des cercles de diffraction.

minée de l'astre, et reconnaître si sa constitution physique est la même en tous les points.

Un micromètre à fil d'araignée complète l'appareil en permettant de mesurer la distance des différentes lignes du spectre.

Dans quelques cas MM. Huggins et Miller, les deux astronomes qui se sont le plus occupés de notre sujet, ont comparé directement le spectre de certains astres avec celui de la lumière produite par la combustion de substances terrestres. La lumière de la flamme de ces corps était alors introduite dans la lunette par réflexion sur un miroir et un prisme disposés de manière à éclairer une portion de la fente par laquelle passe la lumière de l'étoile. Les spectres à comparer semblent alors superposés, et si le corps en combustion existe dans l'astre étudié, les raies noires du premier spectre doivent être prolongées par les lignes brillantes du second.

II

Constitution physique des planètes.

Les planètes reçoivent du Soleil la lumière qu'elles rayonnent vers nous. Les phases de la Lune, de Mercure, de Vénus, et même de Mars, la présence d'un point noir sur les disques de Jupiter et de Saturne, lorsque leurs satellites passent entre eux et le Soleil, sont des preuves suffisantes de ce fait. La lumière renvoyée par les planètes vers la Terre doit donc être semblable à celle du Soleil et, si elle est modifiée par l'apparition de nouvelles raies obscures, nous serons autorisés à affirmer que ces changements proviennent du double passage des rayons à travers l'atmosphère de ces astres ou de la réflexion.

La réflexion ou la diffusion de la lumière par un corps dont la surface est irrégulière, comme celle des planètes, peut sans doute diminuer l'intensité des radiations réfléchies ; mais dans aucun cas elle ne saurait produire une coloration particulière et encore moins introduire des bandes noires spéciales dans le spectre.

L'étude prismatique de la lumière des planètes est donc un moyen de reconnaître et d'analyser leur atmosphère.

Dans la lumière de la Lune, MM. Huggins et Miller ont trouvé toutes les raies du spectre solaire, sans avoir pu constater l'exis-

tence d'aucune ligne nouvelle. Les intensités lumineuses des divers points de notre satellite sont différentes ; mais en dirigeant successivement la lunette vers les parties brillantes ou vers les parties obscures, vers le centre ou vers les bords, on n'obtient aucun changement dans la physionomie du spectre. Les rayons qui nous parviennent des bords de la Lune ont cependant rasé sa surface de très-près et ils sont dans les conditions les plus favorables pour être modifiés par l'atmosphère lunaire si elle existait. Les résultats fournis par l'étude spectrale des rayons de la Lune sont donc une nouvelle preuve que notre satellite n'a pas d'atmosphère sensible.

Les changements rapides remarqués depuis longtemps dans l'apparence du disque de Jupiter, le décroissement de l'intensité lumineuse du centre aux bords sont de fortes présomptions que cette planète est entourée d'une atmosphère considérable. Dans le spectre de Jupiter on distingue en effet, outre les lignes B, C, D, E, *b*, F, G, de la lumière solaire, une forte bande noire située dans le rouge et résoluble en deux ou trois lignes obscures. Cette même bande noire existe dans le spectre tellurique[1], mais bien moins forte, en sorte que l'exagération de son intensité paraît tenir à une absorption des rayons lumineux par une enveloppe gazeuse dont la composition serait analogue à celle de notre atmosphère et qui notamment renfermerait de la vapeur d'eau.

Le spectre de Saturne est très-faible et de même nature que celui de Jupiter ; les raies noires sont moins fortement indiquées dans le spectre de l'anneau que dans celui de la planète.

La lumière de Mars, qui à l'époque de son opposition est assez voisin de la terre, a pu être étudiée avec détails. On ne trouve pas dans le rouge moyen de bandes obscures analogues à celles de Jupiter ou de Saturne ; mais dans l'extrême rouge, probablement entre B et *a*, on distingue deux ou trois lignes bien noires. Les parties orangées, jaunes, vertes, du spectre sont analogues

[1] L'atmosphère terrestre agit sur la lumière des astres à la manière de leurs atmosphères particulières. Parmi les raies obscures que nous présente le spectre d'une étoile ou d'une planète, il y en a un certain nombre qui sont produites par l'atmosphère terrestre ; à l'ensemble de ces lignes noires, les astronomes ont donné le nom de spectre tellurique. M. J. Janssen a fait une étude spéciale des modifications que notre enveloppe gazeuse apporte ainsi dans la lumière du Soleil ou des étoiles. (Voyez page 61.)

aux régions correspondantes du spectre solaire. Après la ligne F l'éclat lumineux diminue avec une très-grande rapidité par suite de l'existence de bandes obscures nombreuses. L'absorption des rayons bleus et violets par l'atmosphère de Mars est certainement la cause de la couleur rouge de cette planète.

L'observation de Vénus n'a pu encore être faite dans des conditions assez favorables pour montrer l'existence de raies produites par l'atmosphère de cette planète. Il est d'ailleurs probable que l'éclat de cet astre, comme celui de Jupiter, provient en grande partie de rayons lumineux qui, réfléchis sur les nuages supérieurs de l'atmosphère, n'ont pu être modifiés par absorption.

III

Constitution physique des étoiles.

A égalité d'éclat apparent le spectre des étoiles est beaucoup plus facile à observer que celui des planètes. Dans ce dernier cas la nécessité d'employer une fente force à n'utiliser que la lumière d'une petite partie de l'image focale; pour les étoiles le diamètre infiniment petit de l'image permet de supprimer la fente et toute la lumière reçue sur l'objectif de la lunette concourt à la formation du spectre. Avec les étoiles de première grandeur et dans les belles nuits, malheureusement si rares dans nos climats, les spectres prennent un éclat remarquable et leurs moindres particularités peuvent être décrites et mesurées avec exactitude.

Fraunhofer [1] est le premier physicien qui ait examiné au moyen du prisme la lumière des étoiles. En 1823 il reconnut l'existence des lignes D, E et *b* dans le spectre de la Chèvre, de Betelgeuse, de Procyon et de Pollux. Depuis cette époque Donati [2], M. Rutherfurd [3], MM. Huggins et Miller [4], M. Janssen, le R. P. Secchi et bien d'autres astronomes se sont occupés du même sujet et le spectre d'un grand nombre d'étoiles a été décrit, mesuré et dessiné.

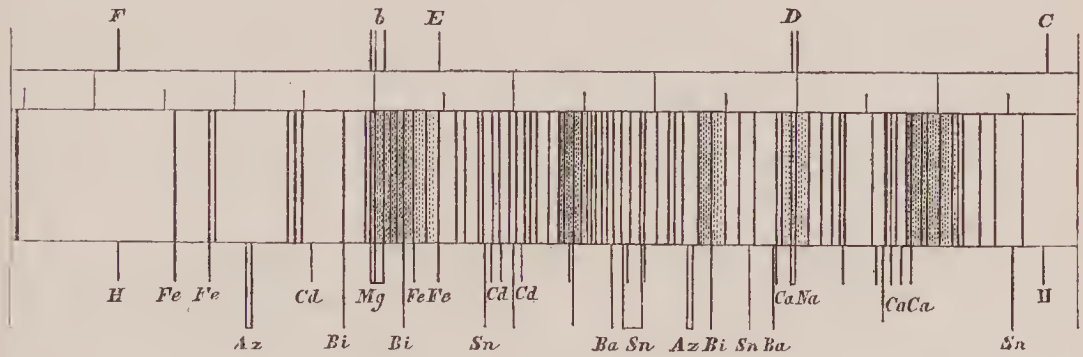
La lumière de tous ces astres donne un spectre coloré continu,

[1] *Annales de Gilbert*, vol. LXXIV.
[2] *Annales du Musée de Florence*, 1862.
[3] *Sillimans Journal*, 1863.
[4] *Transactions philosophiques de Londres*, 1864.

sillonné de lignes noires fort déliées. Le nombre, l'intensité relative, la réfrangibilité, variables d'une étoile à l'autre, constituent le signalement particulier de chacun de ces astres.

Dans Aldébaran (α du Taureau), dont la lumière est rouge pâle, les raies les plus nombreuses et les moins espacées se rencontrent dans l'orangé, le vert et le bleu ; parmi elles on distingue la double ligne D du sodium, quelques-unes des raies du magnésium, du calcium, du fer, du bismuth, du tellure, de l'antimoine, du mercure et enfin les deux lignes de l'hydrogène. On n'y trouve pas les raies caractéristiques de l'azote, du cobalt, du lithium, substances qui paraissent toutes exister dans le Soleil. La présence du fer dans l'atmosphère d'Aldébaran est une preuve de la haute température à laquelle se trouve encore cet astre.

Nous avons fait graver et nous reproduisons ici le dessin que MM. Miller et Huggins ont donné du spectre de Betelgeuse (α d'Orion). Les traits noirs placés à la partie supérieure de la



Spectre de α d'Orion (Betelgeuse).

figure représentent les principales lignes noires du spectre solaire, comprises entre C et F, et doivent servir de points de repère pour apprécier le degré de réfrangibilité des bandes obscures du spectre stellaire. Au-dessous de la figure nous avons indiqué, par des traits tracés à partir de la limite inférieure du dessin, les lignes brillantes que donnent les spectres des principaux métaux ou métalloïdes incandescents ; les lettres placées aux extrémités de ces traits sont celles du symbole par lequel les chimistes désignent les corps auxquels ils correspondent.

A l'inspection du dessin précédent on voit que le spectre d'Orion présente, surtout dans le rouge, le vert et le bleu, des

groupes de raies fort remarquables et dont quelques-uns correspondent aux lignes brillantes des spectres du sodium (Na)[1], du magnésium (Mg), du calcium (Ca), du bismuth (Bi), du fer (Fe). Il est donc probable que ces métaux se rencontrent dans l'atmosphère de α d'Orion. L'absence de coïncidence entre les raies obscures du spectre stellaire et les lignes brillantes de l'hydrogène (H), de l'azote (Az), du cadmium (Cd), de l'argent (Ag), du barium (Ba), de l'étain (Sn), semble au contraire prouver que ces derniers éléments n'existent pas dans l'enveloppe gazeuse de α d'Orion.

MM. Huggins et Miller ont encore mesuré la position des principales lignes observées dans les spectres de β de Pégase, de Sirius, de Véga, d'Arcturus, de Pollux..., de la Chèvre. Pour cette dernière étoile, M. Rutherfurd a pu obtenir un spectre chimique, manquant de netteté, il est vrai, et dans lequel on n'a pu distinguer de lignes[2].

Il serait facile de multiplier beaucoup les descriptions de spectres stellaires; mais de tout ce qui précède nous ne voulons retenir qu'un fait. La lumière des étoiles, comme celle du Soleil, donne un spectre coloré, traversé de nombreuses lignes obscures.

Cette remarque suffit à faire connaître la constitution physique de ces astres.

Des expériences nombreuses, faciles à reproduire, prouvent que la lumière émise par les corps solides ou liquides incandescents renferme des rayons de toutes les réfrangibilités et donne un spectre continu. Cette propriété, indépendante de la nature chimique des corps, caractérise l'état solide ou liquide. Il est donc très-probable que la lumière produite par le noyau solide ou liquide du Soleil et des étoiles donne aussi un spectre continu;

[1] M. J. Janssen avait, dès le 4 janvier 1863, signalé la présence du sodium dans l'atmosphère de α d'Orion. — *Atti della academia de Nuovi Lincei*, anno XVI.

[2] L'intensité chimique de la lumière des étoiles est assez considérable pour que M. Rutherfurd, avec un objectif de 11 pouces 1/4 de diamètre et 14 pieds de foyer, ait pu obtenir des images d'étoiles de huitième et de neuvième grandeur. En trois minutes dans l'amas de Persée, il a pu photographier dans l'étendue de 1 degré carré 23 étoiles. Une exposition de 1 seconde donne une bonne image de Castor.

si ce spectre est sillonné de raies obscures, cela tient, ainsi que l'ont démontré Kirchhoff et Bunsen, à la présence autour du noyau d'une enveloppe gazeuse capable d'absorber les rayons d'une réfrangibilité déterminée.

On doit donc se représenter le Soleil et les étoiles comme formés d'une masse solide ou liquide, incandescente, recouverte d'une atmosphère gazeuse.

Nous savons d'ailleurs que, suivant les éléments qui composent ces atmosphères, l'absorption lumineuse portera sur telle ou telle partie du spectre, et la disparition de rayons de couleurs déterminées doit se traduire par une coloration complémentaire de la lumière totale de l'étoile. Pour α d'Orion, par exemple, le vert et le bleu du spectre sont comparativement obscurs à cause des nombreuses lignes noires qui traversent ces couleurs; dans l'orangé, au contraire, les raies sont moins nombreuses. Ces derniers rayons doivent donc prédominer dans la lumière totale. La teinte de α d'Orion est, en effet, l'orangé.

La couleur des étoiles est donc comme une conséquence immédiate de la distribution des lignes obscures dans leurs spectres et sans qu'il soit nécessaire de connaître les éléments dont les vapeurs forment les atmosphères stellaires, nous pouvons de la couleur variable de ces astres conclure à une composition chimique différente de leur enveloppe gazeuse. Sirius, dont la lumière est blanche, et Aldébaran, qui est rouge, ne peuvent avoir des atmosphères identiques, et à moins d'admettre pour ces soleils deux modes distincts de formation, on est conduit à penser que ces deux astres ne sont pas parvenus à une même période de leur existence. Cette dernière hypothèse est la plus probable.

Les étoiles ne sont point, en effet, des astres immuables; elles se transportent dans l'espace et se transforment sans cesse. Autour d'elles et en elles tout est mouvement; des changements incessants surviennent dans leur position, leur constitution physique et leur éclat.

La perfection avec laquelle les astronomes du dix-neuvième siècle déterminent la position et la grandeur des étoiles, la révision continue des cartes célestes par les chercheurs de planètes ou de comètes, ont conduit à reconnaître que l'éclat d'un grand nombre d'étoiles variait d'une manière périodique. Pour quelques-unes, ce changement de clarté va jusqu'à une extinction complète;

pour d'autres, il y a seulement variation d'intensité. Ainsi Algoot passe en 2 jours, 20 heures, 48 minutes de la deuxième à la quatrième grandeur, et o de la Baleine disparaît et revient à la deuxième grandeur en 334 jours à peu près. Cent soixante étoiles variables sont aujourd'hui cataloguées et bien connues; leur nombre est certainement plus grand encore. Parmi ces astres, les uns ont une courte périodicité, les autres emploient à leur évolution un nombre considérable de jours ou d'années. Dans leurs maxima ou leurs minima successifs, les étoiles variables ne parviennent pas toujours au même éclat; telle étoile qui dans ses maxima s'élève ordinairement à la cinquième grandeur seulement, atteindra dans quelques cas à la troisième ou même à la seconde. La durée de la période n'est pas non plus constante, ce qui exclut l'idée que ces changements d'éclat pourraient être dus à une rotation de l'étoile sur elle-même.

Ici se pose une question pleine d'actualité. Y a-t-il réellement des étoiles nouvelles, ou les apparitions d'étoiles réputées telles doivent-elles être mises sur le compte d'une longue périodicité et d'un changement considérable dans l'éclat de la période maxima? M. Faye a amplement traité ce sujet devant l'Académie des sciences pendant le mois d'août; il nous sera bien permis de revenir ici sur ces recherches intéressantes.

La première apparition constatée d'une étoile nouvelle remonte à l'an 134 avant notre ère; l'astre se montra dans la constellation du Scorpion. Six années plus tard, un phénomène semblable donna, dit-on, à Hipparque l'idée du premier catalogue d'étoiles qui ait été fait. Depuis cette époque, des étoiles nouvelles ont apparu en l'an 130 de notre ère, du temps d'Honorius (393), au neuvième siècle, en 945, en 1264, en 1572, en 1604, en 1670, et enfin en 1845, 1848 et 1866.

De toutes ces étoiles, la plus intéressante à étudier est l'étoile de 1572, si bien observée par Tycho-Brahé. Le 11 novembre 1572, jour où le célèbre astronome danois l'aperçut pour la première fois, elle était blanche et son éclat surpassait celui de Sirius ou de Jupiter au moment de ses oppositions; en janvier 1573, l'astre avait déjà beaucoup diminué d'éclat et semblait un peu jaunâtre. A la fin de mars les astronomes assimilaient l'étoile nouvelle à Aldébaran ou à Mars; la teinte rouge n'était donc pas équivoque. En mai 1573, l'astre nouveau avait perdu sa teinte rouge; sa

nuance était le blanc de la planète Saturne. L'étoile disparut ensuite en conservant sa lumière blanche.

Ces variations de couleur dans l'étoile de 1572 sont importantes à noter, car elles sont une preuve incontestable des changements considérables survenus dans l'état physique de l'astre pendant la courte période de son apparition. L'étoile nouvelle qui s'est montrée en mai 1866 dans la Couronne boréale, et à laquelle nous allons consacrer un chapitre spécial, nous présentera des modifications de même ordre dans son état physique.

IV

Nouvelle étoile variable de la Couronne.

M. Barker [1], à London (Canada-Ouest), est le premier qui, dans la nuit du 4 mai 1866, ait reconnu l'apparition d'une nouvelle étoile un peu au sud de ε de la Couronne boréale; son éclat était alors celui d'une étoile de quatrième grandeur environ. Quelques jours plus tard, dans la nuit du 12 mai, MM. J. Birmingham, de Tuam (Irlande), et Fargubar, à Washington, signalaient, dans cette même constellation, l'apparition d'une étoile de deuxième grandeur. Le 13, le nouvel astre a été aperçu à Rochefort par M. Courbebaisse et à Athènes par M. J. Schmidt. En Amérique, M. Chandler remarquait cette étoile le 14, et le 15 M. Baxendell l'observait comme une étoile de troisième grandeur.

Parmi toutes ces personnes, une seule, M. Schmidt, fait profession d'astronome. Le fait a été soigneusement relevé dans plusieurs journaux, et les astronomes de Londres et de Berlin n'ont pas été plus épargnés que ceux de Paris. A ce propos on n'a pas manqué de rappeler que l'apparition de la plupart des brillantes comètes, notamment celle de 1858, a été signalée pour la première fois par des amateurs. La chose est vraie et il doit en être ainsi. L'astronome, préoccupé d'un phénomène déterminé, dont il suit pas à pas le développement, a sans cesse sa lunette tournée vers la même région du ciel. La détermination exacte de la position des étoiles et des planètes, en vue du calcul des éphémérides célestes, est un travail considérable que les grands observatoires

[1] *Astronimische Nachrichten*, n° 1592 (21 juin 1866).

peuvent seuls accomplir, et auprès duquel d'autres recherches du domaine des amateurs d'astronomie n'ont qu'une importance secondaire. Les établissements où les découvertes de planètes ou de comètes sont le plus fréquentes, sont, peut-être, les observatoires les moins utiles aux progrès de la véritable astronomie.

La découverte de M. Courbebaisse fut connue à Paris le 15, par une lettre de cet ingénieur à M. Delaunay, que reproduisirent tous les journaux. Les astronomes de l'Observatoire vérifièrent aussitôt l'existence de la nouvelle étoile, et le même soir ils s'appliquaient à en mesurer la position exacte. Par une série d'observations, continuées pendant plusieurs jours, on a trouvé pour ses deux coordonnées : ascension droite, 15^h, 53^m, 53^s, 31 ; distance polaire, 63° 41′ 50″0. L'astre n'a aucun mouvement propre.

L'apparition de la nouvelle étoile de la Couronne a été très-rapide. Le 4 mai, elle était encore de quatrième grandeur ; le 12, elle atteignait la seconde, c'est probablement son maximum ; le 13, elle égalait les étoiles voisines, dont l'éclat est intermédiaire entre la deuxième et la troisième grandeur. A partir de ce jour, sa lumière a diminué rapidement ; le 14, elle paraissait comme une étoile de troisième grandeur ; le 15, elle était de troisième ou quatrième grandeur ; le 20, de sixième à septième grandeur ; le 24, de huitième grandeur, et, enfin, le 28 de neuvième grandeur environ. Depuis, son intensité lumineuse a à peine varié.

Ce caractère, d'un accroissement rapide d'éclat, suivi d'un affaiblissement lent, est commun à toutes les étoiles, dites nouvelles, qui ont paru depuis plusieurs siècles. Les étoiles périodiques ou variables offrent quelque chose d'analogue, et il semble que dans l'apparition d'un astre nouveau, il n'y a que l'exagération d'un phénomène qui se produit constamment, mais à un degré moindre, dans un grand nombre d'étoiles.

La particularité la plus remarquable présentée par l'étoile nouvelle de 1866 consiste dans une composition toute spéciale de sa lumière.

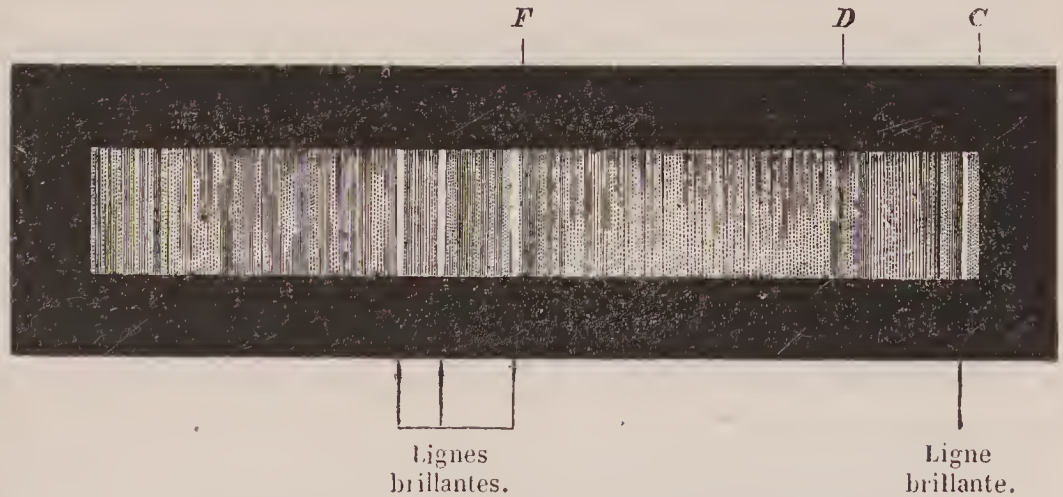
L'étoile de la Couronne est le premier astre apparu subitement depuis les études de MM. Bunsen et Kirchhoff sur la lumière des flammes colorées, et depuis l'application de l'analyse spectrale à l'étude de la constitution physique du Soleil et des étoiles ; aussi la découverte de cette étoile était-elle à peine signalée que les astrono-

mes anglais et français dirigeaient leurs puissants spectroscopes vers la Couronne. MM. Huggins et Miller, à l'observatoire de Tulse-Hill (Londres), MM. Wolf et moi à Paris, avons simultanément fait connaître les faits intéressants dont il nous reste à parler.

Voici d'abord un résumé de la note de MM. Huggins et Miller, dont les observations ont commencé le 16 mai[1].

Le spectre de l'étoile de la Couronne est double.

Le spectre principal est analogue à celui des étoiles ordinaires de teinte jaune ; on y distingue les couleurs de l'arc-en-ciel rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet et plusieurs bandes obscures : d'abord deux fortes lignes noires, un peu plus réfrangibles que la ligne C de Fraunhofer ; puis un groupe obscur vers D ; enfin de nombreuses lignes s'observent depuis la région de *b* jusqu'à la limite la plus réfrangible du spectre.



Spectre de l'étoile variable de la Couronne boréale.

Le second spectre, qui dans les instruments est superposé au premier, consiste en cinq lignes brillantes. La principale de ces lignes, beaucoup plus brillante que la région voisine du spectre, coïncide avec la ligne F de Fraunhofer, au milieu du vert ; au delà de cette ligne, à une distance un peu plus grande que le quart de la distance entre F et G, existe une deuxième bande moins brillante que la première, mais encore très-nette. En s'avançant encore vers la partie violette du spectre, d'une quantité un peu inférieure

[1] *Astronomische Nachrichten*, n° 1586 (26 mai), et n° 1592 (21 juin).

au tiers de la distance des deux lignes précédentes, on rencontre une troisième bande brillante mal terminée et nébuleuse. Enfin une quatrième ligne lumineuse a été soupçonnée dans la partie la plus réfrangible du spectre. Dans le rouge, au voisinage de C, existe enfin une dernière bande brillante bien définie.

L'existence de bandes sombres et de lignes lumineuses dans le spectre de cette étoile, prouve que sa lumière est empruntée à deux sources différentes. Les rayons qui donnent le spectre coloré, continu et sillonné de bandes obscures, proviennent du noyau solide ou liquide de l'astre, et quelques-uns d'entre eux ont subi une absorption partielle en traversant une atmosphère gazeuse, dont la température est plus basse que celle du noyau central. Les lignes brillantes sont les radiations d'une matière gazeuse, dont certaines parties doivent se trouver à une température beaucoup plus élevée que la masse de la photosphère, puisque ces bandes sont notablement plus brillantes que les parties correspondantes du spectre continu.

MM. Huggins et Miller ont continué à observer la lumière de l'étoile pendant les nuits des 17, 19, 21, 23 et 24 mai. Durant toute cette période, l'aspect du spectre n'a pas beaucoup changé ; le 17, la ligne rouge paraissait un peu plus brillante que les lignes vertes et bleues ; le 19, les bandes d'absorption voisines de C étaient très-noires. Du 16 au 23 l'intensité du spectre coloré continua à diminuer plus rapidement que celles des lignes brillantes, et le 24, ces dernières se détachaient d'une manière très-visible sur un fond coloré très-pâle.

A Paris, les observations spectrales de l'étoile de la Couronne n'ont pu commencer que le 20 au soir ; l'astre était alors de sixième ou de septième grandeur. Le spectre obtenu avec un très-bel objectif de 9 pouces de diamètre construit par M. L. Foucault, et un spectroscope à vision directe de M. Duboscq, était encore très-brillant. MM. Wolf et moi avons reconnu la présence de 4 lignes brillantes : la première dans le rouge; la seconde dans le vert; la troisième et la quatrième dans le bleu. Les lignes brillantes ont persisté jusqu'au 23. Le 24 l'état du ciel a empêché l'observation, et puis les recherches ont été interrompues par l'éclat de la Lune qui se rapprochait de plus en plus de la constellation de la Couronne, et dont la lumière éclairait vivement tout le champ de l'instrument.

Parmi les lignes brillantes reconnues par les astronomes anglais ou français dans la lumière de l'étoile variable de la Couronne, les lignes C et F coïncident avec les deux raies lumineuses de l'hydrogène incandescent ; il semble donc que l'état particulier de l'atmosphère de l'étoile tenait à ce que, par suite de quelque grande convulsion intérieure du noyau, il en est sorti une masse considérable d'hydrogène et d'autres gaz. L'hydrogène, par sa combinaison avec des éléments dont l'oxygène ne fait pas partie, aurait produit la lumière représentée par les lignes brillantes et amené, en même temps, la matière solide de la photosphère à un point d'échauffement donnant lieu à une vive incandescence.

D'après la position des lignes d'absorption analogues à celles de α d'Orion, la lumière de la nouvelle étoile aurait dû être orange ; mais la lumière bleu verdâtre des trois lignes les plus brillantes, s'ajoutant à la teinte précédente, donnait, pour l'œil, au nouvel astre une couleur presque blanche.

L'étoile, si rapidement apparue dans la Couronne, est-elle une étoile nouvelle, ou bien, n'y a-t-il dans ce phénomène qu'une exagération remarquable de l'éclat d'une étoile existant depuis des siècles? Les recherches historiques des astronomes résolvent la question dans ce dernier sens.

Le catalogue du ciel boréal construit en 1855 et 1856 par M. Argelander à l'Observatoire de Bonn, comprend, sous le numéro 2765 de la zone + 26°, une étoile de neuvième à dixième grandeur, qui occupe précisément la même place que l'étoile nouvelle. Sir J. Herschel rapporte aussi que dans la nuit du 9 juin 1842, il a observé dans la Couronne une étoile de sixième et septième grandeur, dont la position est si voisine de celle de l'astre actuel qu'il ne peut s'empêcher de croire que c'est la même étoile. Enfin, le catalogue de Wollaston pour 1790 renferme une petite étoile, dont la position s'accorde parfaitement avec celle de la nouvelle.

Il est donc probable que l'étoile signalée par M. Courbebaisse existe au ciel depuis longues années, et que son apparition actuelle n'est que l'exagération d'un de ses changements d'éclat périodiques[1].

[1] Les étoiles temporaires qui ont apparu dans les années 130, 393, 945, 1264, 1572... doivent très-probablement être attribuées à des chan-

Quoique réduite à ces termes, l'apparition de cette étoile n'en est pas moins un phénomène digne d'intérêt, et les études auxquelles elle a donné lieu jettent un jour nouveau sur les changements dont les étoiles variables sont le siége. Ces astres, comme le Soleil, ne sont pas exempts de ces grandes révolutions intérieures dont les géologues reconnaissent tant de preuves à la surface de notre planète.

V

Constitution physique des nébuleuses et des comètes.

L'éclat des nébuleuses est en général très-faible, cependant quelques-unes d'entre elles sont assez brillantes pour que leur lumière ait pu être soumise à l'épreuve de l'analyse spectrale. Cette étude a conduit aux conséquences les plus remarquables.

Examinées avec les puissantes lunettes astronomiques de notre siècle, les nébuleuses présentent des aspects variés. Certaines d'entre elles apparaissent comme la réunion d'une multitude d'étoiles; d'autres, comme une lumière diffuse sans aucun contour défini. Ces dernières sont les plus dignes d'intérêt. Tantôt la matière lumineuse s'est agglomérée de manière à offrir la forme d'un disque plus ou moins aplati; tantôt, autour d'un noyau central assez brillant, flottent des nuages dont les apparences bizarres échappent à toute description. Les premières de ces nébuleuses ont reçu d'Herschel le nom de nébuleuses planétaires; les secondes doivent conserver la dénomination de nébuleuses proprement dites.

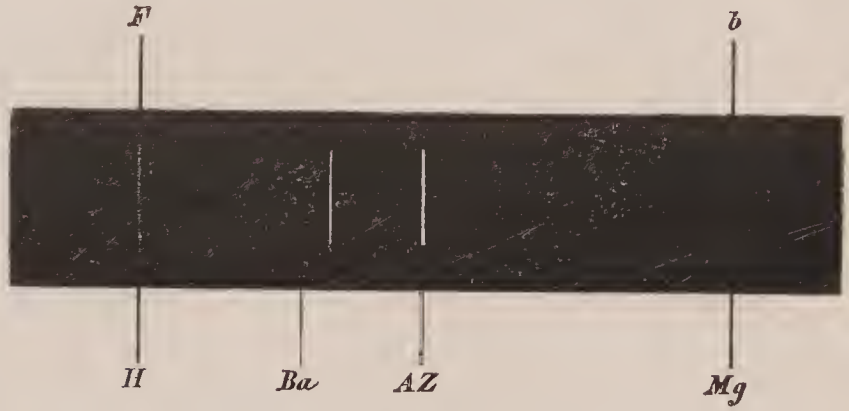
La lumière des nébuleuses planétaires est assez souvent bleue teintée de vert, et en cela ces corps diffèrent des étoiles, chez lesquelles cette coloration est extrêmement rare; d'ailleurs on ne distingue pas dans ces corps la moindre condensation centrale.

gements considérables dans l'éclat d'étoiles faibles qui avaient échappé aux astronomes. Le très-regrettable M. Goldschmidt a même montré (*Bulletin international de l'Observatoire de Paris*, 29 mars 1866), que l'étoile de l'an 393 qui s'est montrée en mars dans la queue du Scorpion, celle de 1203, celle de 1609, pouvaient être considérées comme des apparitions successives d'une même étoile variable dont la période principale serait de 405 ans environ. — Un travail analogue pourrait certainement être fait pour d'autres astres.

Tout, dans ces apparences singulières, porte donc à penser que ces astres doivent présenter des phénomènes d'un ordre différent de ceux rencontrés dans les étoiles ou les planètes.

La première nébuleuse planétaire étudiée au spectroscope par MM. Huggins et Miller est celle que l'on rencontre dans la constellation du Dragon; elle présente dans son centre une condensation très-brillante; je traduis ici le mémoire des physiciens anglais :

« Le 29 août 1864 je dirigeai ma lunette, munie du spectroscope vers cette nébuleuse. Au premier instant je crus à un dérangement de l'instrument. Il n'y avait aucun spectre, mais seulement une courte ligne brillante perpendiculaire à la direction de la dispersion.



Spectre de la nébuleuse du Dragon.

« Plus tard, un examen attentif, avec une fente plus étroite, a montré l'existence d'une seconde ligne brillante faible, un peu plus réfrangible que la première et séparée d'elle par un espace obscur. Enfin, au delà de cette seconde ligne, à une distance environ égale à trois fois celle de la première à la seconde, on distingue une bande lumineuse extrêmement faible. La première et la plus brillante de ces lignes se place entre les raies F et *b* du spectre solaire et correspond à la raie de l'azote incandescent. La troisième et la plus faible est la ligne brillante de l'hydrogène, et coïncide avec F. Enfin, la seconde est voisine d'une des lignes du barium.

« Entre ces lignes, et les dépassant de chaque côté, existe un spectre coloré excessivement faible, dont l'éclat ne semble pas uniforme et qui est sillonné d'espaces obscurs. Des observations

subséquentes sur d'autres nébuleuses me conduisent à regarder ce spectre comme dû à la lumière dégagée par la matière solide ou liquide du noyau, et comme tout à fait distinct des lignes brillantes produites par la matière propre des nébuleuses. »

Dans la lumière de la nébuleuse du Taureau de Poniatowski, on trouve à la même place les trois mêmes lignes brillantes. Le spectre coloré est infiniment plus faible que dans le cas précédent, et il est important de remarquer que cette nébulosité n'a pas de noyau perceptible.

La nébuleuse planétaire du Cygne, qui possède au centre une étoile de onzième grandeur, a présenté, avec les trois mêmes lignes brillantes, un spectre coloré beaucoup plus lumineux que dans les deux cas précédents.

La lumière de l'anneau cosmique remarquable qui forme la nébuleuse bien connue de la Lyre, a aussi été étudiée par les astronomes anglais. Voici, d'après Huggins, la description du spectre :

« L'éclat apparent de cette nébuleuse, vue dans une lunette, est probablement dû à sa grande étendue. La faiblesse du spectre indique, en effet, que l'intensité lumineuse intrinsèque de ses diverses parties est plus faible que dans les nébuleuses précédemment examinées. La plus brillante des trois lignes colorées était bien visible; j'ai soupçonné l'existence de la suivante. Il y avait une indication de spectre continu. La ligne brillante est des plus curieuses à examiner; elle consiste en deux parties très-lumineuses répondant aux deux sections de l'anneau et séparées, non par une ligne noire, mais par une ligne infiniment faible. Cette observation montre que la matière nébuleuse qui occupe la portion centrale de l'anneau est d'une constitution physique semblable à celle de l'anneau; au centre seulement la condensation est moins forte. »

En rapprochant ces faits les uns des autres, ne semble-t-il pas que ce qui caractérise le spectre de la matière nébuleuse est la simplicité extrême de la lumière réduite à quelques rayons de réfrangibilité déterminée, et que, toutes les fois où les lignes brillantes se détachent sur un spectre coloré, la lumière de ce dernier est due à la présence d'une condensation centrale ou d'un noyau.

Admettons, pour un instant au moins, cette caractéristique de

la matière nébuleuse, et nous serons en possession d'un réactif certain pour distinguer parmi les nuages cosmiques ceux qui sont encore à l'état gazeux et qui forment les nébuleuses véritables non résolubles, et ceux qui, plus condensés, sont déjà partiellement transformés en étoiles et seront dans quelques milliers de siècles des amas analogues à celui de la constellation d'Hercule.

Quarante-six nébuleuses ou amas pris parmi ceux étudiés avec le grand télescope de lord Ross ont été examinés à ce point de vue par Huggins, et voici la comparaison des résultats de l'analyse spectrale avec les conséquences de l'étude télescopique :

	SPECTRE CONTINU.	SPECTRE GAZEUX.
Amas d'étoiles.	10	0
Nébuleuses résolues.	5	0
Nébuleuses résolubles ou qui semblent résolubles.	10	6
Nébuleuses bleues ou vertes.	0	4
Nébuleuses non résolues.	6	5
	31	15

On voit donc que toutes les nébuleuses résolues donnent, comme les amas d'étoiles, des spectres continus, et que celles qui sont certainement irrésolubles émettent toutes une lumière discontinue. Si on songe à l'immense difficulté de bien observer des astres aussi faibles, l'accord entre les deux méthodes d'examen est des plus parfaits, et l'on est fondé à dire que l'analyse spectrale donne aux astronomes un nouveau moyen de prononcer sur la résolubilité des nébuleuses.

L'ensemble des observations précédentes conduit à penser que les nébuleuses véritables sont constituées par une matière gazeuse incandescente et ne renferment que par exception des noyaux solides ou liquides. Cette conséquence de l'étude spectrale de ces astres est d'ailleurs corroborée par tout ce que nous savons de l'aspect et des changements de forme de ces corps.

L'absence, dans les nébuleuses planétaires, de condensation centrale s'accorde fort bien avec notre hypothèse de la gazéité, tandis qu'il serait difficile d'en rendre compte si on admettait que ces amas lumineux sont une réunion de soleils. En effet, n'est-il pas évident que ces aggrégations d'étoiles doivent avoir, d'une manière générale au moins, la forme globulaire ou discoïde, et

que, par suite, les rayons lumineux qui les traverseront au voisinage de leur centre, passant au travers d'une quantité plus grande de matière, devront sembler plus brillants. Toutes ces nébuleuses devraient donc montrer une condensation centrale, à moins toutefois de supposer que le plan de leur disque est précisément perpendiculaire à la direction des rayons de lumière qu'elles nous envoient. Ces hypothèses toutes particulières ne seront plus nécessaires si l'on admet que les nébuleuses sont des amas de vapeurs. Les recherches de Kirchhoff ont, en effet, montré que la lumière émise par les portions centrales d'une masse gazeuse incandescente est, en très-grande partie, absorbée par les gaz qui l'enveloppent, et que par conséquent un amas de vapeurs doit se présenter comme une surface lumineuse et ne sera pas plus brillant vers le centre que sur les bords. Le peu d'éclat des nébuleuses planétaires s'accorde d'ailleurs avec ce fait reconnu par nos expériences de laboratoire, que les gaz ou les vapeurs incandescents n'émettent qu'une faible quantité de lumière.

Rappelons encore que les corps solides ou liquides rayonnent une lumière très-complexe, tandis que les gaz ou les vapeurs ne donnent que des radiations en petit nombre. C'est là le cas de la lumière de toutes les nébuleuses.

Enfin, parmi les trois lignes brillantes que présente le spectre des nébuleuses, deux correspondent par leurs réfrangibilités à des éléments gazeux, l'hydrogène et l'azote, et la troisième à une substance inconnue. N'y aurait-il pas dans ce fait l'indice d'une différence profonde entre la constitution chimique des nébuleuses planétaires et celle des étoiles?

La lumière des comètes a été jusqu'ici peu étudiée, car les dernières années n'ont pas été favorables à cet objet. Nous ne connaissons, sur ce sujet, que les travaux de Donati, relatifs à la comète de 1858, ceux du R. P. Secchi sur la comète de Tempel, et quelques observations de Huggins sur la comète I de 1866.

« D'après le savant directeur de l'observatoire du Collége Romain [1], le spectre de la comète de Tempel est composé de trois raies brillantes : la première correspond aux 2/5 de la distance entre *b* et *f* de Fraunhofer et est assez vive; sa couleur est verte, mais elle diffère par sa largeur des lignes brillantes des nébu-

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXII, 29 janvier 1866

leuses. Les deux autres raies sont trop faibles pour en pouvoir fixer exactement la position; l'une est du côté du rouge, assez près de la large raie principale; l'autre est assez éloignée, vers le violet. D'après cela, on doit ranger cette comète, pour sa constitution physique moléculaire, entre les nébuleuses; mais la réfrangibilité de la lumière n'est pas la même que pour ces derniers astres. »

Suivant M. Donati, le spectre de la comète de 1864 (Tempel-Respighi), offrait deux bandes obscures très-larges.

D'après Huggins, la comète I de 1866, dont l'apparence était celle d'une masse circulaire de vapeurs très-subtiles avec un noyau très-petit, plutôt terne que lumineux, empruntait son éclat à deux sources distinctes. Le spectre très-faible et continu de la chevelure montrait qu'elle était rendue visible par la lumière réfléchie du Soleil. Dans le milieu de ce spectre on voyait une raie brillante; cette raie était le spectre du noyau, et indiquait que ce dernier était lumineux par lui-même. La position de cette bande laisse d'ailleurs soupçonner que la matière de la comète était semblable à celle qui constitue les nébuleuses.

Les comètes brillent donc d'une très-faible lumière propre, et la plus grande partie de leur clarté est due à l'éclairement du Soleil; on sait en effet que les astronomes calculent très-exactement l'éclat successif de ces astres, en supposant que toute leur lumière est empruntée au Soleil.

Arrivés à la fin de cette étude remplie de bien des détails techniques, il importe de mettre en pleine lumière les aperçus nouveaux qu'elle donne sur la constitution et peut-être le mode de formation des milliers de corps de notre monde planétaire.

Bien des systèmes cosmogoniques ont été tour à tour proposés, dans le but d'expliquer la création et l'harmonie du système du monde. Entre tous, celui de Laplace nous semble le plus satisfaisant, car il permet de rendre compte de toutes les découvertes nouvelles sur la constitution physique des astres. Suivant l'illustre auteur de la *Mécanique céleste*, la matière cosmique incandescente formait à l'origine une immense nébuleuse, animée d'un mouvement de rotation sur elle-même de droite à gauche. Avec le progrès des siècles, l'attraction et le refroidissement ont séparé les diverses parties de cet amas de matière, et, la condensation augmentant avec le temps, les nébuleuses, les étoiles, les planètes

et leurs satellites ont successivement été formés. Ces trois sortes d'astres répondent à des périodes différentes d'un même phénomène.

Les nébuleuses représentent assez bien les premiers progrès de la condensation. Les unes, les moins avancées dans leur transformation, ressemblent à des nuages lumineux d'une ténuité extrême, flottant dans l'espace; les autres, plus âgées de quelques milliers de siècles, ont déjà pris la forme sphéroïdale; les dernières enfin, liquéfiées ou solidifiées en partie, présentent un noyau central entouré d'une vaste nébulosité comparable à une atmosphère.

Cette condensation de la matière disséminée dans l'espace entraîne avec elle deux conséquences nécessaires : destruction d'une énorme quantité de mouvement, production d'une quantité correspondante de chaleur, capable, lorsqu'il s'agit de masses comme le Soleil, de porter les corps à une température supérieure, à celle de la *dissociation* de tous les éléments connus.

Dans une pareille masse de gaz ou de vapeurs dépourvue de toute conductibilité directe (les gaz et les vapeurs conduisent fort mal la chaleur), le refroidissement superficiel, condensant, rendant plus lourdes certaines parties, il s'établira bientôt entre les diverses couches successives, des mouvements et des échanges analogues à ceux que des causes étrangères produisent dans notre atmosphère, et chaque partie de la masse se trouvera successivement amenée à la surface. Or, quelle que soit la température de cette masse gazeuse, son pouvoir émissif sera toujours très-faible, et cette première période de refroidissement, pendant laquelle les gaz sont encore incandescents, pourra durer un très-grand nombre de siècles. Les nébuleuses planétaires correspondent probablement à cet état particulier de la matière.

Les pertes incessantes de chaleur finiront cependant par abaisser la température superficielle de la masse à un point où les forces d'affinité chimique commencent à reprendre leur empire sur quelques corps. A la surface de l'amas gazeux le jeu de ces forces donnera lieu à des combinaisons, solides ou liquides, susceptibles d'incandescence ; ces corps, sollicités par leur gravité plus grande, tomberont bientôt vers le centre de la masse, où ils trouveront la température suffisante à leur dissociation, et ils seront remplacés dans les couches superficielles par des masses gazeuses nouvelles. Ainsi s'établira un échange incessant de matière entre la surface et

l'intérieur. L'énormité de la masse interne permet de concevoir que l'émission superficielle de chaleur et de lumière, constitue une phase de très-longue durée et d'une grande constance.

Ainsi se trouve expliquée l'existence et l'entretien d'une photosphère très-lumineuse, limite apparente du Soleil.

La température de dissociation étant bien loin d'être la même pour les différents corps, on comprend aussi qu'au-dessus de la photosphère solaire, et même dans toute la masse de cet astre, il doit exister une atmosphère formée par les vapeurs des substances peu stables ; à l'absorption par ces vapeurs de radiations d'une réfrangibilité déterminée sont dues les raies obscures du spectre solaire.

La lumière des étoiles présentant les mêmes caractères que celle du Soleil, nous devons penser que la constitution et le mode de formation de ces astres est analogue. Rien ne force à supposer homogène la matière cosmique primitive ; il est donc probable que la composition des atmosphères stellaires est variable, et comme d'ailleurs ces astres doivent être parvenus à des degrés divers de refroidissement, permettant l'existence de composés différents la diversité des radiations lumineuses des étoiles se trouve expliquée.

Aussi longtemps que, dans un soleil ou une étoile, les substances resteront à l'état de gaz ou de vapeurs parfaites, la communication entre l'extérieur et l'intérieur sera continue, et, des courants ascendants ou descendants pouvant s'établir d'une manière facile, l'entretien de la photosphère lumineuse s'opérera avec régularité, l'éclat de l'astre restera constant ; mais, par suite du rayonnement calorifique lui-même, la matière cosmique s'éloigne de plus en plus de la fluidité parfaite, les courants ne s'établissent plus librement, et à la longue ils doivent cesser totalement. Les choses resteront dans cet état un temps plus ou moins long ; mais il arrive nécessairement un instant où l'équilibre instable de la masse est brusquement rompu ; un afflux subit de matière, dont la température est encore énorme, se produit de l'intérieur vers l'extérieur ; les phénomènes de combinaison chimique reprennent une énergie nouvelle, et l'éclat de l'astre augmente d'une manière très-rapide. A cette exaltation lumineuse, presque subite, succède une lente diminution d'éclat, et le refroidissement continue jusqu'au moment où un cataclysme nouveau vient, pour un instant, raviver l'astre,

Pendant toute cette seconde période, évidemment plus longue que la première, la lumière de l'étoile ne changera guère de caractère; comme elle est rayonnée par une surface incandescente à travers une atmosphère gazeuse, son spectre devra présenter les couleurs de l'arc-en-ciel, traversées par des bandes obscures. Au moment de l'accroissement de lumière, les vapeurs sorties du noyau central peuvent être incandescentes, et le spectre de l'astre présentera alors, comme on l'a observé pour l'étoile nouvelle de 1866, une combinaison de raies brillantes et obscures.

Entre ces deux états extrêmes, celui d'une gazéité parfaite de la matière et celui où une portion de cette matière est passée à l'état liquide, existe une période où les courants gazeux, sans jamais être supprimés, ont des alternatives de maxima et de minima, et pendant laquelle l'éclat de l'astre est régulièrement variable.

L'hypothèse de Laplace rend donc compte de l'état physique, dans lequel doivent se trouver les étoiles à éclat constant, les étoiles périodiquement variables, au nombre desquelles se trouve notre Soleil, et enfin les étoiles dites nouvelles, dans lesquelles le temps écoulé entre deux exaltations successives peut être fort long.

Encore un nouveau refroidissement, et les étoiles variables à longues périodes, doivent finir par avoir un noyau liquide, et puis solide, entouré d'une atmosphère formée de substances gazeuses seulement; et alors commence la période géologique dont nous avons sur la terre des preuves incontestables, et qu'ont très-probablement traversée toutes les planètes de notre système.

GEORGES RAYET.

III

NOUVELLES PETITES PLANÈTES.

Depuis 1862, époque à laquelle l'*Annuaire scientifique* a consacré une notice spéciale au groupe des planètes télescopiques qui circulent autour du Soleil, entre les orbites de Mars et de Ju-

piter, le nombre de ces petits astres s'est notablement accru.

Nous en comptions alors 76. On en connaît aujourd'hui (novembre 1866) 15 nouvelles, ce qui porte le nombre total à 91.

Voici leurs numéros d'ordre, les noms de celles qui ont été baptisées, les dates et lieux de leurs découvertes, et enfin les noms des astronomes qui ont été assez heureux et assez habiles pour reconnaître les premiers leurs mouvements, parmi la multitude innombrable d'étoiles dont la zone écliptique est parsemée.

La planète (77) a reçu le nom de *Frigga* qui est celui d'une divinité scandinave, la femme du dieu Odin. Elle a été découverte le 25 novembre 1862, par M. Peters, à Clinton (États-Unis d'Amérique).

En 1863, deux nouvelles planètes ont été trouvées, l'une, *Diana*, ou (78), le 15 mars, par M. Luther, en son observatoire de Bilk, près de Dusseldorf; l'autre, *Eurynome* ou (79), le 14 septembre, par M. Watson, aux États-Unis.

Sapho a été vue la première fois à Madras, par M. Pogson, le 2 mai 1864. Elle a pour numéro d'ordre (80). La même année, la planète (81), *Terpsichore*, a été découverte à Marseille, par M. Tempel, le 7 octobre, et M. Luther a trouvé *Alcmène*, ou (82), le 27 novembre.

Trois nouvelles planètes forment aussi le contingent de l'année 1865. Ce sont : *Béatrix*, ou (83), due à M. de Gasparin, le 26 avril; *Clio* ou (84), encore découverte par M. Luther, le 23 août; et *Io* ou (85), par M. Peters, dans les derniers jours de l'année.

L'année qui vient de s'écouler est plus riche que ses devancières dans ce genre de découvertes, puisque le nombre des petites planètes trouvées est déjà de 5, qui sont : la planète (86), encore innommée, du moins à notre connaissance; elle été découverte le 4 janvier, à l'observatoire de Berlin, par M. Tietjen qui, cherchant à déterminer la position de la planète Io par comparaison avec celle d'une étoile voisine, fut surpris de voir, après une heure d'observation, que la distance des deux astres n'avait pas changé. Cela tenait à ce que l'un et l'autre marchaient dans le même sens, ainsi que l'observateur le reconnut à l'aide d'une troisième étoile voisine des deux premières. *Sylvia*, ou (87), a été trouvée à Madras, par M. Pogson, le 16 mai 1866; *Thisbé*,

(88), par M. Peters, aux États-Unis, le 20 juin ; la planète (89), à Marseille, par M. Stephan, directeur de l'observatoire récemment inauguré : c'est le télescope à miroir argenté de M. Foucault qui a servi à l'observation ; la planète *Antiope*, ou (90), a encore été découverte à Bilk, par M. Luther, qui en est aujourd'hui à sa seizième petite planète. Enfin, c'est en corrigeant les épreuves de cette note que nous apprenons la découverte de la planète (91), faite à Marseille dans la nuit du 4 au 5 novembre de cette année 1866.

En relevant les dates des 91 petites planètes connues, et en les groupant par années depuis 1845, nous avons remarqué une circonstance peut-être toute fortuite, mais qui n'en est pas moins singulière. C'est dans les années 1847, 1852, 1857 et 1862 que se trouvent les nombres maximum de découvertes de ces petits astres, c'est-à-dire à des périodes de cinq en cinq années. Dans les années intermédiaires, les nombres de planètes trouvées diminuent, puis augmentent d'une façon assez régulière. De plus, comme on peut s'en assurer par l'énumération que nous en avons faite plus haut des 15 planètes nouvelles, le nombre va de nouveau en croissant, ce qui nous fait espérer une moisson abondante pour l'année prochaine 1867.

Nous donnons cette remarque pour ce qu'elle vaut ; et assurément, on peut dire qu'il y a là l'effet du hasard, ou peut-être, du plus ou moins de zèle des observateurs. Mais, comme les petites planètes sont le plus souvent trouvées dans le voisinage de l'un de leurs nœuds, ou de l'intersection de leurs orbites avec le plan de l'écliptique, ne serait-ce point aussi l'indice d'une distribution toute particulière de ces petits corps ; n'est-il pas possible que le groupe total se subdivise en un certain nombre de groupes, de manière à former autant d'anneaux planétaires. C'est une question à étudier entre tant d'autres.

Chacun de ces petits corps célestes offre certainement, si on les considère isolément, un faible intérêt. Mais il n'en est pas de même si on les envisage dans leur ensemble. Il est fort curieux de voir que le système planétaire est formé de deux groupes principaux, l'un celui des planètes moyennes, les plus rapprochées du Soleil, et dont la Terre fait partie ; l'autre celui des grosses planètes, de faible densité ; que ces deux groupes laissent entre eux un espace

rempli par les planètes télescopiques, qui voyagent par centaines et peut-être par milliers dans une même région du monde solaire.

La recherche de ces petits astres ne doit donc pas être abandonnée, quel que soit l'embarras des grands observatoires à étudier la marche de tant de planètes et à en calculer les éphémérides.

L'étude des météores filants, bolides et aérolithes, offre le même degré d'intérêt ; elle exige que des observateurs s'y consacrent d'une façon spéciale. Il faut qu'on sache aussi à quoi s'en tenir sur les planètes situées entre Mercure et le Soleil. Si Vulcain n'a pas été revu, ce n'est pas une raison pour désespérer de le voir encore ; enfin, il est possible que Neptune ne soit pas la dernière planète du système.

Pour en revenir aux petites planètes, terminons en disant que nous voudrions voir poursuivre les recherches commencées par le regretté Goldschmidt sur les variations de leur éclat, variations qui lui paraissaient propres à révéler leurs mouvements de rotation. C'est par des études du même genre qu'on est déjà parvenu à s'assurer que les satellites de Jupiter tournent sur eux-mêmes, dans des temps précisément égaux à ceux de leurs mouvements de révolution.

AMÉDÉE GUILLEMIN.

IV

OBSERVATION DU SOLEIL A L'AIDE DE LENTILLES ARGENTÉES.

NOUVEAU PROCÉDÉ DE M. L. FOUCAULT.

Le pouvoir optique d'une lunette, c'est-à-dire la faculté de distinguer avec cet instrument les parties voisines et différentes d'un même objet, augmente rapidement avec la surface efficace de l'objectif. Pour étudier les particularités singulières et remarmarquables de la surface du soleil, il y a donc avantage à employer des lunettes construites avec des objectifs d'un diamètre considérable; mais alors on rencontre de grandes difficultés. L'éclat de l'image focale, même examinée avec de forts grossisse-

ments, est insupportable à l'œil, et les rayons calorifiques admis dans l'instrument en même temps que la lumière peuvent, en pénétrant dans l'œil, produire dans cet organe délicat les plus graves lésions.

En plaçant devant l'oculaire un verre noir, on parvient, dans les premiers instants au moins, à diminuer dans une proportion suffisante la quantité de chaleur et de lumière qui arrive à l'œil, et l'observation devient possible; mais si l'examen se prolonge, le verre noir s'échauffe et souvent se brise, en exposant l'observateur à tous les accidents signalés précédemment. Sans crainte d'être démenti, on peut affirmer que ce procédé, applicable avec les lunettes d'une faible ouverture, est tout à fait insuffisant pour les objectifs de vingt ou vingt-cinq centimètres de diamètre.

On peut aussi, avant d'admettre les rayons lumineux dans l'oculaire, leur faire subir une ou plusieurs réflexions sur des miroirs plans, les polariser et les faire passer ensuite au travers d'un prisme de Nicol. Ces deux méthodes diminuent l'intensité de la lumière et de la chaleur; mais les déviations multiples subies par les rayons altèrent singulièrement la perfection de l'image fournie par l'objectif.

Le procédé de M. L. Foucault[1] est infiniment plus parfait que les précédents.

Au lieu d'agir sur l'oculaire, le savant physicien de l'Observatoire impérial de Paris a imaginé d'argenter la surface extérieure de l'objectif. L'argent, déposé sur le verre par les méthodes dont M. L. Foucault est l'inventeur, forme une couche sans épaisseur, d'une transparence et d'une limpidité comparable à celle des plus beaux verres. Par ce moyen, l'instrument est protégé contre l'ardeur des rayons solaires, presque totalement réfléchis vers le ciel, et la petite quantité de lumière qui traverse la couche métallique se réfracte, suivant les lois ordinaires de l'optique, pour former au foyer une image calme et pure, observable à loisir et sans aucun danger pour la vue.

L'essai du procédé de M. Foucault a été fait à l'Observatoire sur un objectif de vingt-cinq centimètres de diamètre, et les ré-

[1] *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXIII (3 septembre et 1er octobre 1866).

sultats ont été aussi parfaits qu'on pouvait l'attendre. Il est vraiment remarquable de pouvoir, sans la moindre fatigue pour l'œil, examiner le soleil pendant plus d'un quart d'heure.

La couche d'argent, si elle a une épaisseur convenable, n'altère aucunement les qualités optiques de l'objectif; elle diminue seulement l'intensité de la lumière transmise, sans troubler la marche des rayons et sans produire de diffusion sensible ; l'image se trouve en même temps débarrassée de presque toute la chaleur qui en rendait l'observation difficile et dangereuse. Le disque du soleil se détache nettement sur un ciel noir, et on distingue facilement dans les taches les nombreux détails si bien étudiés depuis plusieurs années. La surface entière de l'astre se montre parsemée d'un pointillé brillant, irrégulier dans la grandeur, la forme et le groupement de ses éléments, et par instant on croit saisir la trace des réactions dont elle est le siége.

La lumière transmise par les lentilles argentées renferme toutes les couleurs du spectre, à l'exception du rouge extrême, dont l'élimination semble coïncider avec celle des rayons calorifiques obscurs. L'orangé, le jaune et le vert sont diminués; le bleu et le violet deviennent prédominants. La teinte vraie du soleil est donc un peu altérée; mais l'œil accoutumé à cette teinte bleuâtre cesse bientôt d'en avoir le sentiment distinct. Il faut d'ailleurs remarquer que l'image du soleil n'étant pas monochromatique, les phénomènes se traduisant par une production de corps colorés (la coloration rouge extrême excèptée) ne pourront échapper à l'observation. G. R.

V

NOTICES NÉCROLOGIQUES[1]

EDMOND BOUR

Quand nous avons vu partir l'un après l'autre ces grands savants qui depuis le commencement du siècle avaient élevé si haut

[1] Cette Notice a été rédigée d'après le *Bulletin de la Société philomathique* dont Bour était un des membres les plus assidus.

la science française, quand nous avons entendu dire que Gay-Lussac était mort, puis Arago, puis Thenard et Biot enfin, survivant longtemps à ses contemporains, nous avons éprouvé sans doute une profonde émotion ; mais ces grands hommes ne quittaient la vie qu'après en avoir parcouru toutes les étapes, leur tâche était accomplie et leur dette payée.

Il n'en a plus été de même quand se répandit la nouvelle que Bour venait de mourir. Il avait à peine 34 ans ; nous le comptions comme une de nos gloires, et lorsqu'on nous parlait du peu de vigueur et de la stérilité probable de notre génération, Bour était un de ceux vers lequel nous tournions les yeux. S'il est mort dans toute sa puissance, il a vécu assez pour montrer qu'il était un de ces esprits originaux, prédestinés aux grandes découvertes.

Jacques-Edmond-Émile Bour naquit le 19 mai 1832 à Gray [1], en Franche-Comté ; dès son plus jeune âge, Bour se fit remarquer par son intelligence, son ardeur à l'étude et une mémoire prodigieuse, grâce à ses heureuses dispositions, il parvint à acquérir, dans un simple collége communal, les éléments de cette solide instruction littéraire que révélaient sa conversation et ses écrits.

Reçu bachelier ès lettres au sortir du collége de Gray, il aborda, au lycée de Dijon, l'étude des sciences, et en 1850, à l'âge de 18 ans, après une année de mathématiques spéciales, il fut admis à l'École polytechnique. Classé par les examinateurs le 64e parmi les 90 élèves de sa promotion, il s'éleva bientôt au premier rang, qu'il conserva jusqu'à sa sortie de l'École ; aussi reçut-il de l'Institut, dans sa séance publique du 27 décembre 1852, le prix annuel, fondé par madame la marquise de Laplace en faveur de l'élève sortant le premier de l'École polytechnique.

Élève ingénieur des mines le 15 novembre 1852, Bour fut promu le 14 juillet 1855 au grade d'ingénieur de 3e classe, et envoyé à l'École des mineurs de Saint-Étienne comme professeur d'exploitation des mines et de mécanique.

Nommé le 5 décembre 1857 ingénieur de 2e classe, en 1859 il

[1] Bour a toujours conservé un tendre attachement pour sa ville natale, à laquelle il faisait don régulièrement de toutes ses publications. Une amitié pieuse a déposé dans la bibliothèque de Gray tous les manuscrits de Bour. — Au reste ses compatriotes avaient apprécié de bonne heure le talent du jeune géomètre, il était membre de l'Académie de Besançon, et il a été décidé récemment que son buste serait placé à l'hôtel de ville de Gray.

finit, sur les instances de ses amis, et malgré des scrupules de toute nature, par poser sa candidature à une place de répétiteur du cours de géométrie descriptive à l'École polytechnique. Aussitôt on reconnut qu'au second rang n'était pas sa place : nommé professeur à l'École des mines en 1860, il occupa le 2 mars 1861, à l'âge de 29 ans, l'une des deux chaires de mécanique à l'École polytechnique.

Ces quelques dates résument ainsi la carrière officielle de Bour, mais une longue analyse de ses travaux serait indispensable pour donner une idée complète des progrès que lui doivent les sciences mathématiques.

Il faudrait disposer de plus de place que ne peut nous en offrir ce recueil pour montrer quel charme s'alliait chez Bour à la solidité du caractère. Esprit vigoureux mais rempli de gaieté, il était capable de se délasser de ses rudes travaux, en écrivant à un de ses amis une lettre en vers grotesques, ou une série de jeux de mots agencés au courant de la plume avec autant de verve que d'esprit. Pour tous ceux qui l'ont connu, Bour était la preuve vivante qu'un esprit brillant, rempli de saillies et d'originalité, peut atteindre aux plus hautes conceptions mathématiques.

Le premier travail personnel de Bour qui ait appelé l'attention de ses professeurs, fut une théorie nouvelle de l'électro dynamique, qu'il produisit dans ses examens à l'École polytechnique. Très-apprécié alors par M. de Senarmont, de regrettable mémoire, cette théorie n'a malheureusement jamais été publiée.

Encore élève à l'École des mines, Bour soumit, le 5 mars 1855, à l'Académie de sciences, un *Mémoire sur l'Intégration des équations différentielles de la mécanique analytique.* « Les géomètres liront avec intérêt, dit au sujet de ce travail M. Liouville au nom de la Commission chargée de l'examen, le mémoire de M. Bour. C'est dans les excellentes leçons de M. Bertrand que M. Bour a surtout puisé les idées premières de son travail ; l'élève s'est montré digne du maître. Nous proposons à l'Académie d'approuver le mémoire de M. Bour, et d'en ordonner l'insertion dans le *Recueil des Savants étrangers.* »

Ces conclusions furent adoptées, et le mémoire parut dans le *Recueil des Savants étrangers* (t. XIV), en même temps que dans les *Comptes rendus* (t. XL) et dans le *Journal de mathématiques* (t. XX).

A ce premier travail de Bour était réservée, après celle de l'Académie, une autre consécration, la plus flatteuse que pût désirer le jeune géomètre : le suffrage posthume de l'illustre Jacobi. Depuis 1837, le monde savant attendait impatiemment l'apparition, annoncée dès cette époque, d'un important ouvrage de ce grand géomètre sur la mécanique analytique. « La publication posthume de ce travail, dit Bour lui-même dans l'un de ses mémoires, vient de commencer dans le *Journal de Crelle*, par les soins de M. Clebsch, et c'est avec une bien vive satisfaction qu'en tenant compte de la différence entre le couronnement de l'œuvre d'un maître et les essais incertains d'un élève, j'ai retrouvé dans la nouvelle méthode de Jacobi l'identité la plus parfaite avec celle que j'ai eu l'honneur de soumettre à l'Académie des sciences dans sa séance du 5 mars 1855. »

Devant une pareille déclaration, tout commentaire devient inutile, surtout si l'on observe qu'à cette date Bour n'avait pas vingt-trois ans.

Ce brillant succès obtenu par Bour au début de sa carrière, lui valut, de la part du ministre de l'instruction publique, l'autorisation de subir les épreuves du doctorat ès sciences mathématiques, sans justifier des grades inférieurs. Il soutint ses thèses devant la Faculté des sciences de Paris, le 3 décembre 1855.

Peu après ces nouveaux travaux, par lesquels le jeune géomètre soutint et accrut encore sa renommée naissante, il reçut de la part de l'illustre Biot, avec une lettre qui, elle seule, constituait un titre d'honneur, quelques volumes de mémoires mathématiques, dont le vénérable savant traçait ainsi l'histoire :

« Cette précieuse collection de mémoires de Lagrange, tire son origine de d'Alembert ; il la composa avec des exemplaires que Lagrange lui envoyait de Berlin ; il en fit présent à Condorcet, sous la condition de la transmettre à quelque jeune homme laborieux, quand elle ne lui serait plus nécessaire. Elle est venue successivement, sous la même condition, de Condorcet à Lacroix, de Lacroix à M. Biot, avec addition de plusieurs autres pièces. M. Biot la donna à J. Binet. Binet n'en ayant pas disposé de son vivant, elle est rentrée dans les mains de M. Biot, qui la transmet, sous les mêmes conditions, à M. Bour, comme un témoignage d'estime pour son zèle, et pour les beaux travaux mathématiques par lesquels il s'est annoncé aux amis des sciences. »

Cette distinction unique, récompense éclatante de travaux heureusement accomplis, était en outre, et surtout, une marque de la confiance qu'ils inspiraient.

Chacun sait comment Bour avait déjà justifié cette confiance, lorsque la mort est venue, longtemps avant l'heure, l'arracher à ses persévérantes et fécondes recherches, sans lui laisser même le temps de décerner, à son tour, cette glorieuse récompense. Ce fut son collègue et ami, M. Mannheim, qui dut assurer le sort de ce précieux dépôt : il le transmit à l'Académie des sciences. Cette compagnie décida qu'elle en disposerait en faveur d'un jeune savant qui devra se conformer aux intentions du premier fondateur.

« Persévérez invinciblement, écrivait Biot à son jeune protégé, dans la voie où vous avez déjà commencé à marcher avec tant de succès. . . . . Si vous poursuivez votre carrière scientifique avec le même courage que vous y avez porté d'abord, chaque nouveau pas que vous y ferez sera pour vous un accroissement d'honneur. . . . . »

Fortifié par ces sympathiques encouragements, contre l'abattement qu'il avait tout d'abord éprouvé en se voyant privé, par son éloignement forcé de Paris, des plus précieues ressources scientifiques, Bour se remit à l'œuvre avec une ardeur nouvelle.

Le 25 février 1856, il avait présenté à l'Institut un mémoire sur les *mouvements relatifs* (Comptes rendus, t. XLII); le 5 janvier 1857, il en donna un autre *sur la résolution des équations numériques du troisième degré au moyen de la règle à calculs* (Comptes rendus, t. XLIV). Enfin il aborda l'*étude des surfaces qui peuvent s'appliquer les unes aux autres, sans déchirure ni duplicature*, question proposée par l'Académie des sciences pour le grand prix de mathématiques en 1861. Le mémoire, désormais célèbre, que Bour soumit au jugement de l'Institut, affirma une fois de plus l'incontestable supériorité de son auteur.

« M. Bour, dit M. Bertrand dans son rapport à l'Académie des sciences (séance du 23 mars 1861), ne s'est proposé rien moins que l'intégration complète des équations du problème, dans le cas où la surface donnée est de révolution. Les méthodes ordinaires de calcul intégral ne semblant pas ici applicables, il a mis à profit une indication rapide, jetée, comme en passant, par Lagrange, dans un de ses mémoires, et dans l'application de la-

quelle l'illustre géomètre signalait lui-même de grosses difficultés. Cette méthode consiste, d'abord, à former une solution *complète* de l'équation différentielle du second ordre, dans laquelle figurent cinq constantes arbitraires, et à en déduire la solution générale par la variation de ces constantes. Les difficultés que Lagrange avait aperçues et signalées ont été très-habilement et très-heureusement surmontées dans le mémoire n° 1. La Commission espère que le savant auteur généralisera sa belle analyse et que le calcul intégral recevra, par là, un perfectionnement notable. Il sera juste de rapporter à Lagrange la gloire d'avoir ouvert cette voie nouvelle, mais le concours actuel occupera, néanmoins, une place importante dans son développement. En résumé, la Commission accorde le prix de mathématiques au mémoire inscrit sous le n° 1, ayant pour divise : Je plie et ne romps point, dont l'auteur est M. Bour, professeur à l'École polytechnique. »

Dans les séances de l'Académie des sciences du 17 février, des 10 et 17 mars 1862, Bour analyse son beau mémoire sur l'*Intégration des équations différentielles partielles du premier et du second ordre*, qui fait suite au précédent, et se trouve, comme celui-ci dans le 39e cahier du Journal de l'École polytechnique. Après un court exposé de l'état de la question, l'auteur résume et complète, dans ce travail, ses recherches sur ce vaste sujet ; il rappelle le théorème fondamental qu'il avait démontré antérieurement au tome XIV du *Recueil des savants étrangers*, et en déduit une nouvelle méthode d'abaissement des équations différentielles de la dynamique. Passant ensuite aux équations du premier ordre, il applique sa méthode à l'*intégration des équations différentielles de la ligne géodésique sur une surface quelconque*, problème dont il avait annoncé la solution, comme second appendice à son mémoire sur la déformation des surfaces. Il termine par des considérations importantes sur l'intégration des équations du second ordre. A cette occasion, M. Liouville s'est exprimé ains (Séance du 10 mars 1862, de l'Académie des sciences) :

« ..... Dans les pages, trop peu nombreuses, insérées aux Comptes rendus, chaque mot est une idée. J'ai donc eu le bonheur de voir M. Bour répondre entièrement à ce que j'annonçais de lui comme rapporteur d'un premier travail présenté à l'Académie, en 1855. Désormais, M. Bour a son rang fixé près des maîtres. Il ne s'agit plus d'un jeune homme donnant des espérances,

mais d'un grand géomètre qui a tenu les promesses brillantes de sa jeunesse. »

Bour avait alors trente ans.

A la suite de ces succès, il fut inscrit sur la liste des candidats au fauteuil laissé vacant, à l'Académie des sciences, par la mort de M. Biot. Ses titres nombreux et brillants semblaient devoir assurer son élection ; cependant l'Académie, faisant entrer en ligne de compte la durée de la carrière scientifique, crut devoir lui préférer un autre géomètre qui, depuis longtemps s'était fait connaître par de savantes recherches. Pour les amis de Bour, pour l'Académie elle-même, ce n'était que partie remise ; à ses yeux, ce fut partie perdue. « Faut-il s'en étonner? s'écrie, quelques années plus tard, M. Cournot, sur la tombe de son jeune ami, nous avons tous nos tristes pressentiments, et quelque chose apparemment lui disait trop bien qu'il n'avait pas le loisir d'attendre. »

Après cette déception, qu'il ressentit trop profondément, Bour ne publia plus qu'un mémoire, inséré, en 1863, dans le *Journal de mathématiques* (tome VIII). Ce travail, digne des précédents, se rapporte au *mouvement relatif*.

Dans les dernières années de sa vie, Bour paraît s'être exclusivement occupé de rédiger, avec un soin infini, pour le publier, le cours de mécanique qu'il professait à l'École polytechnique.

Le premier fascicule de cet ouvrage, contenant la cinématique, a seul paru quelques mois à peine avant la mort de son auteur ; mais le *Discours préliminaire*, chef-d'œuvre de logique et d'érudition, suffit à faire juger de l'esprit de l'œuvre. En quelques pages claires et concises, Bour définit l'objet de la science, trace les voies par lesquelles elle le poursuit et l'atteint, et parvient à faire pressentir déjà cette admirable unité de la mécanique que la suite de son cours affirmera constamment.

La publication de ces belles leçons, connues seulement jusqu'ici de quelques élèves de l'École polytechnique, sera heureusement continuée, par les soins de l'amitié, sûre de confirmer, par une œuvre de plus, le témoignage de toutes celles qui ont illustré et qui perpétueront le nom de Bour.

Bour est mort le 8 mars 1866, dans sa trente-quatrième année, au Val-de-Grâce ; depuis quelques semaines, il était allé y chercher des soins dont le privait l'absence de sa famille. La maladie qui l'a tué, activée, sinon provoquée, par les fatigues de deux

grands voyages, l'un en Algérie, pour l'observation de l'éclipse du 18 juillet 1860, l'autre en Asie Mineure, pendant l'été de 1863, pour de longues explorations métallurgiques, minait depuis longtemps cette santé si précieuse. Son attachement à ses devoirs de professeur, sa répugnance à abandonner son amphithéâtre hâtèrent peut-être encore la catastrophe que, parmi ses amis, nul ne pressentait si prochaine. « C'est toujours un spectacle douloureux, a dit M. le colonel Riffault, devant cette tombe sitôt ouverte, de voir la mort frapper la jeunesse. Mais, combien l'émotion n'est-elle pas plus profonde quand, à la douleur de la famille, vient s'ajouter un deuil public, quand celui qui part avant l'heure, a déjà donné le droit de dire sur sa tombe : une grande intelligence vient de s'éteindre. »

Et, aussi bien, le temps qui amortit les plus cruelles impressions adoucira sans doute un jour, pour la famille[1] et les amis d'Edmond Bour, l'amertume de la perte du fils et de l'ami ; il n'affaiblira jamais les regrets qu'a laissés, à tous ceux qui cultivent ces hautes connaissances, « le plus digne, le plus impérissable objet des efforts de l'homme, » cet esprit éminent, éteint dans la plénitude de sa puissance créatrice.

VI

HERMANN GOLDSCHMIDT

Nous sommes tellement habitués, en France, à voir les travaux de science ou les œuvres d'art s'effectuer sous le patronage plus ou moins direct du gouvernement ou d'une société savante, d'une académie, que nous sommes étonnés, je dirai presque scandalisés, quand l'auteur d'une découverte importante est arrivé seul, sans diplôme et sans protecteur, à fixer l'attention des hommes compétents.

Cela est surtout vrai, quand il s'agit d'une science comme l'as-

[1] Une souscription ouverte parmi les géomètres, les ingénieurs et tous les amis de Bour a assuré l'avenir de mademoiselle Bour.

tronomie d'observation, qui exige, du moins c'est l'opinion générale, un apprentissage long, pénible, et le secours d'instruments aussi rares que dispendieux. Il y a là un préjugé difficile à détruire, qui serait démenti par l'histoire de l'astronomie française dans les derniers siècles, et qui l'est à coup sûr aujourd'hui par les travaux des astronomes contemporains. A l'étranger surtout, en Angleterre, en Allemagne, aux États-Unis, si les observatoires publics, dotés par l'État, sont nombreux, les observatoires privés ne le sont pas moins. Il suffit de citer quelques-uns des savants qui dirigent ces derniers pour faire voir qu'ils ne le cèdent pas aux autres pour la gloire qui s'attache aux découvertes qui leur sont dues; je cite au hasard : lord Rosse, Lassell, Warren de la Rue, Dawes, Huggins, Luther, Hind.

Lord Rosse est un grand propriétaire d'Irlande, qui a pu consacrer trois cent mille francs rien qu'à l'érection du télescope monstre qui nous a révélé la structure des nébuleuses; Lassell n'était qu'un simple brasseur de Liverpool, qui, avec sa femme et ses filles, se livrait alternativement à la surveillance de la brasserie et à l'inspection du ciel; c'est à lui qu'on doit, entre autres découvertes, celle du huitième satellite de Saturne. Warren de la Rue est à la fois astronome et fabricant de papier; c'est lui, paraît-il, qui fournit le meilleur papier pour la photographie. Enfin, Hind a trouvé dix planètes dans l'observatoire qu'un riche boucher américain a fait élever et a doté à ses frais.

En France, nos riches n'ont guère de ces fantaisies. A la vérité, les hommes qu'enflamme l'amour passionné et désintéressé de la science savent surmonter les obstacles que la pauvreté n'épargne pas à leurs investigations. Si l'on pouvait douter de ce que peut une volonté énergique et une patience que rien ne lasse, l'exemple du savant que cette année a vu mourir, et dont nous allons rapidement retracer la vie et les travaux, en serait le plus éloquent témoignage.

Le 15 novembre 1852, un peintre d'histoire, allemand d'origine, Hermann Goldschmidt, muni d'une simple longue-vue, découvrait la vingt et unième petite planète du groupe situé entre Mars et Jupiter, dans le modeste atelier qu'il occupait à Paris, rue de Seine, n° 12. La découverte, on le pense bien, eut un grand retentissement, non-seulement dans le monde de la science, qui se trouvait posséder, sans s'en être douté, un astronome de plus,

mais aussi dans le public, fort ébahi d'une révélation de ce genre. L'astre fut baptisé *Lutetia*, en l'honneur de la grande cité qui était, pour la première fois témoin de la découverte d'une planète.

François Arago fut des premiers à applaudir et à encourager le modeste artiste, et il le décida à suivre une carrière si brillamment inaugurée. Moins de deux ans après, le 26 octobre 1854, Goldschmidt découvrait *Pomone*, puis successivement *Atalante* (5 octobre 1855), *Harmonia* (31 mars 1856), et *Daphné* le 22 mai de la même année. Ces découvertes valurent à leur auteur le prix d'astronomie de la fondation Lalande, décerné par l'Académie des sciences de France.

Mais Goldschmidt ne s'arrêta pas là. Dans la seule année 1857, il découvrit cinq nouvelles planètes, dont les deux dernières furent observées et reconnues dans une même nuit. Ce sont : *Eugenia* (26 juin) ; *Nysa* (27 mai) ; *Melete* (9 septembre) ; *Palès* et *Doris* (19 septembre), surnommées les deux jumelles, à cause de la circonstance exceptionnelle qui les fit découvrir dans la même soirée.

Enfin, dans les années suivantes, quatre nouvelles planètes, *Europa* (6 février 1858), *Alexandra* (10 septembre 1858), *Danaé* (19 septembre 1860), et *Panope* (5 mai 1861), portèrent à quatorze le nombre de ces petits astres, dont l'astronomie doit la connaissance à l'habileté, au zèle, à la patience de l'astronome peintre.

Goldschmidt fut huit fois lauréat de l'Institut. La Société astronomique de Londres, dans sa séance solennelle du 8 février 1861, lui décerna sa grande médaille d'or, qui, d'un côté, porte l'effigie de Newton, de l'autre le télescope du grand W. Herschel. Voici quelques lignes extraites du discours prononcé à cette occasion par le révérend Robert Main, président de la Société et directeur de l'Observatoire de Radcliffe, à Oxford; elles montrent quelle estime les savants étrangers témoignèrent pour les travaux de notre regretté compatriote. Après avoir énuméré ces travaux :

« Jusqu'ici, messieurs, dit-il, je me suis abstenu de parler des moyens dont M. Goldschmidt disposait pour faire ses découvertes. Je vous ai laissé supposer, si vous ne connaissez pas son histoire, qu'il est au moins aussi bien muni d'instruments que ses rivaux, dont quelques-uns (pas tous cependant) pouvaient disposer des grands télescopes d'observatoires. La grandeur apparente des pla-

nètes découvertes semblerait justifier une telle supposition. Ainsi, par exemple, Lutèce, la première planète qu'il découvrit en 1852, fut considérée comme une étoile de la 9e-10e grandeur. Je suis sûr qu'aucun de vous, astronomes de profession, n'aurait songé que l'on pût chercher à découvrir un tel astre avec un objectif inférieur à quatre ou cinq pouces.

« Eh bien! messieurs, le télescope avec lequel il fit cette découverte, aidé des cartes de Berlin, avait vingt-trois lignes d'ouverture, ou un peu plus de deux pouces; un télescope, en fait, comme on en voit dans les ports pour observer les navires en mer, mais jusqu'ici jamais sans doute employé à découvrir des planètes.

« Cet instrument, en outre, était un objet dont le jeune astronome pouvait bien être fier : il provenait, celui-là, ou un plus petit de dix-neuf lignes qui l'avait précédé, du produit de la vente d'une copie que M. Goldschmidt avait faite à Florence du portrait de Galilée. Jamais peut-être plus grand résultat ne fut obtenu par de si faibles moyens; et si, comme on le dit, c'est là un cachet du génie, M. Goldschmidt peut, à bon droit, réclamer sa part d'admiration.

« C'est donc au moyen d'un télescope de deux pouces, placé dans la tabatière d'un grenier servant en même temps de chambre à coucher, c'est par une judicieuse manipulation de son instrument et un sérieux examen des catalogues de Berlin, qu'il a découvert un astre d'un aussi faible éclat, un astre qui exigea la plus grande attention des astronomes de Greenwich, même avec l'aide de la grande lunette méridienne, lorsqu'il fut découvert. »

Tant de succès, et de succès si mérités, n'enivrèrent pas Goldschmidt. Il résista aux offres qui lui furent faites d'entrer dans les grands établissements d'observation, et conserva sa chère indépendance.

Les petites planètes ne furent pas, du reste, les seuls objets de ses observations. Il découvrit plusieurs étoiles variables, la nébulosité extrêmement faible qui enveloppe les Pléïades, observa le satellite de Sirius, découvrit dans le voisinage de cette étoile plusieurs points lumineux qui lui parurent des satellites nouveaux, et utilisa son talent de peintre pour reproduire les particularités de l'éclipse totale de juillet 1860 et les détails des noyaux cométaires. Nous avons admiré les belles peintures du noyau de la

comète de Donati, qui, il faut l'espérer, ne seront pas perdues pour la science.

C'est à Fontainebleau que Goldschmidt s'était retiré ces dernières années. Il était d'une santé délicate : la faiblesse de sa vue, usée au service désintéressé de la science, et les premières atteintes du mal qui devait l'emporter, le contraignirent à chercher le repos. Il partageait ses loisirs, dans cette retraite, forcée, entre la culture de son art et les observations astronomiques. Nous n'avons jamais vu ses tableaux d'histoire, mais les paysages dont il trouvait les sujets dans la belle forêt de Fontainebleau dénotaient un estimable talent.

« Hermann Goldschmidt, — comme nous le lisons dans une notice nécrologique de l'*Avenir national*, — était né à Francfort-sur-le-Mein, le 27 juin 1802, d'une famille israélite exerçant le commerce ; il s'adonna d'abord à la profession paternelle, puis, en Hollande et à Munich, sous la direction de Schnorr et de Cornelius, étudia et cultiva avec un certain succès la peinture d'histoire. C'est à partir de 1848 qu'il transforma en observatoires et illustra, par le bonheur et la persistance de ses découvertes, les deux ateliers placés comme des pigeonniers, qu'il occupa successivement à Paris, rue de Seine, n° 12, et au-dessus du café Procope. »

Goldschmidt est mort à Fontainebleau, le 30 août 1866, âgé dès lors de soixante-quatre ans. Il était l'un des membres fondateurs de la Société d'archéologie de Seine-et-Marne, et, comme nous venons de le dire, appartenait au culte israélite. « Dans Goldschmidt, a dit sur sa tombe le docteur Tabouret, nous regrettons le savant ; nous regrettons aussi l'homme de cœur, chez lequel se révélaient des vertus que l'on trouve rarement réunies : le talent et la modestie, la fermeté et la bonté, et cette douceur de caractère qui le faisait bientôt regarder comme un ami par tous ceux qui le connaissaient. »

Goldschmidt, on le voit, n'était pas seulement un habile observateur dont les sciences déplorent la perte, ce fut aussi un digne et noble caractère.

AMÉDÉE GUILLEMIN.

PHYSIQUE

I

LES RAIES TELLURIQUES DU SPECTRE SOLAIRE

M. JANSSEN.

Quand on examine au travers d'un prisme ou mieux d'une série de prismes un faisceau lumineux obtenu en faisant pénétrer dans une chambre obscure les rayons solaires au moyen d'une fente étroite, on sait qu'on aperçoit une bande colorée de toutes les nuances de l'arc-en-ciel; on sait aussi, depuis Wollaston et Fraunhofer, que ces bandes sont hachées d'un grand nombre de raies fines parallèles entre elles et à la fente, et irrégulièrement distribuées dans les diverses couleurs. Nous avons insisté déjà sur les résultats admirables auxquels a conduit l'étude de ces raies[1]. Nous savons que leur examen a permis de se faire sur la nature chimique du soleil et des astres des idées tout à fait nouvelles, et le lecteur a pu voir, dans l'article inséré dans ce volume par M. Rayet, combien nos connaissances astronomiques ont gagné à ce nouveau mode d'investigation. Mais il est un point essentiel sur lequel on n'avait pu décider avant les expériences remarquables, poursuivies depuis plusieurs années avec beaucoup de talent par M. J. Janssen, notre excellent collègue de l'École d'architecture, expériences qui ont été couronnées cette année d'un brillant succès.

Sir David Brewster, le premier, avait remarqué dans le spectre solaire, examiné lorsque l'astre est encore à l'horizon, des bandes obscures analogues à celles qu'on peut voir dans une lumière

[1] Voyez *Annuaire de* 1862, 1863 et 1865.

qu'on fait passer au travers d'une couche épaisse de vapeurs nitreuses. Sir David avait été conduit par cette observation à l'idée que notre atmosphère pourrait bien agir à la manière du gaz nitreux et devenir ainsi la cause des bandes obscures observées quand le soleil est à l'horizon; le physicien anglais poussant même son idée à l'extrême avait cru pouvoir attribuer toutes les raies du spectre à la faculté absorbante de l'atmosphère terrestre... mais l'évanouissement presque complet des bandes obscures lorsque l'astre s'élève à l'horizon et la conservation dans le spectre de midi des raies fines de Fraunhofer ne permettaient pas d'attribuer ces deux systèmes de raies à la même cause.

Plus tard MM. Bunsen et Kirchhoff démontrèrent qu'un grand nombre des raies du spectre doivent être attribuées à l'atmosphère du soleil, et les savants, détournés par les brillants résultats obtenus en Allemagne, semblèrent oublier pendant quelques temps qu'une analyse attentive du spectre observé à midi ou le soir et le matin indiquait des différences assez notables pour qu'il fût probable que si un grand nombre de raies était dû à la puissance absorbante de l'atmosphère du soleil, d'autres pouvaient être attribuées au passage de la lumière au travers des couches de notre atmosphère, ces raies étant d'autant plus visibles que l'épaisseur d'atmosphère traversée était plus grande.

M. Janssen a consacré plusieurs années à l'étude du spectre, et nous avons déjà eu occasion d'indiquer que, d'après lui, les raies d'intensité variable à midi et lorsque le soleil est à l'horizon, étant dues à l'atmosphère de la terre et non à l'atmosphère du soleil, devaient prendre le nom de raies telluriques; nous avons rapporté notamment l'expérience importante qu'il fit sur le sommet du Faulhorn. Elle était de nature à démontrer la justesse de son opinion, car il put constater, à cette grande hauteur, une diminution sensible dans l'intensité des raies telluriques, résultat facile à concevoir, puisque, sur le sommet d'une montagne élevée, l'observateur laisse au-dessous de lui les couches les plus denses de notre atmosphère dont l'action absorbante sur la lumière ne peut plus s'exercer.

Toutefois pour qu'il fût clairement démontré que les raies du spectre solaire qui varient d'intensité avec l'heure de l'observation sont bien dues à notre atmosphère terrestre, il était intéressant d'obtenir ces raies à l'aide d'une lumière autre que celle du

soleil. L'opération présentait des difficultés sérieuses, tentée par MM. Brewster et Gladstone[1], elle n'avait pas été couronnée de succès, probablement parce qu'on n'avait pas interposé entre l'observateur et la lumière une couche atmosphérique d'une épaisseur satisfaisante ; après plusieurs essais infructueux, M. Janssen réussit à installer son expérience sur les bords du lac de Genève (octobre 1864). La flamme d'un grand bûcher de sapin, flamme qui de près ne donne aucune raie, sinon la raie brillante du sodium, a présenté à 21 kilomètres les raies atmosphériques du spectre solaire. Celles-ci se trouvent au reste situées dans une région du spectre où les raies solaires sont peu abondantes : l'atmosphère de la Terre produit dans le rouge, l'orangé et le jaune du spectre un système de raies dix fois plus nombreuses que les raies solaires de ces régions. Au contraire dans le vert le bleu et le violet ce sont les raies d'origine solaire qui dominent de beaucoup.

L'action de notre atmosphère étant démontrée de la façon la plus complète par l'expérience du lac de Genève, il restait à découvrir à quels éléments de cette atmosphère on devait attribuer cette action; or M. Janssen avait observé déjà que lorsque l'atmosphère était humide, la plupart des raies telluriques prenaient beaucoup plus d'intensité que lorsqu'on observait par un temps sec, et il avait été ainsi conduit à attribuer une grande importance à la vapeur d'eau dans la production du phénomène.

Pour lever tous les doutes il fallait arriver à l'expérimentation directe, faire passer au travers d'un tube renfermant une grande quantité de vapeur d'eau une vive lumière et reconnaître dans le spectre de cette lumière sinon tout, au moins partie des raies telluriques du spectre solaire; les conditions étaient difficiles à réaliser, car il fallait encore diriger la lumière au travers d'une masse de vapeur d'eau analogue à celle qui se rencontre dans l'épaisse couche atmosphérique que percent les rayons solaires lorsque l'astre est à l'horizon. Enfin, grâce au bon vouloir de M. le directeur de la Compagnie parisienne du gaz et de M. Arson, ingénieur en chef, l'expérience fut tentée. Un tube en fer de 37 mètres fut monté ; il fut placé dans une caisse en bois de même longueur contenant de la sciure de bois bien sèche,

[1] *Philosophical transactions*, 1860.

disposition qui empêche toute déperdition de chaleur. La vapeur était fournie par une locomobile de la force de six chevaux et la lumière par une rampe de seize becs de gaz disposés suivant l'axe du tube.

Les observations dans cet appareil n'étaient pas sans danger, car les glaces qui fermaient les deux orifices du tube devaient présenter des points de moindre résistance par lesquels la vapeur pouvait tout à coup se frayer une issue; les expériences furent, en effet, interrompues après quelques jours par une explosion formidable qui heureusement ne causa que des dégats matériels; toutefois des résultats importants étaient déjà acquis, et l'appareil mieux installé se prêta bientôt à de nouvelles observations.

« Dans une expérience qui eut lieu dans la soirée du 3 août 1866, le tube étant bien purgé d'air et plein de vapeur à la pression de sept atmosphères, le spectre se présenta avec cinq bandes obscures dont deux bien marquées et rappelant le spectre solaire vu dans le même instrument vers le coucher du soleil; ainsi les prévisions énoncées plus haut se trouvaient réalisées et c'est bien à la vapeur d'eau répandue dans notre atmosphère qu'est due la majeure partie des raies telluriques du spectre. » Ces expériences ont en outre donné un second résultat non moins intéressant. Le spectre de la lumière transmise s'est montré très-sombre dans la partie la plus réfrangible, tandis qu'il était brillant dans les rayons du rouge et du jaune. Ainsi, bien que la vapeur d'eau absorbe énergiquement certains rayons rouges et jaunes, en somme elle est très-transparente pour la plupart de ces rayons, tandis qu'elle agit d'une manière générale sur les rayons les plus réfrangibles. Il en résulte que la vapeur d'eau serait de couleur orangé rouge par transmission et d'autant plus rouge qu'elle agit sous une plus grande épaisseur.

L'importance de la découverte du spectre de la vapeur d'eau est considérable, nous pourrons bientôt savoir si ce principe indispensable à l'existence des êtres organisés de ce globe se rencontre dans les autres planètes, et nous aurons ainsi sur l'histoire de ces astres des notions plus précises. M. Janssen termine au reste sa communication en annonçant qu'il peut déjà affirmer l'absence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère du soleil.

P. P. Dehérain.

II

NOUVELLES MACHINES ÉLECTRIQUES

Pendant cette dernière année, la partie de la physique, qui a pour but l'étude de l'électricité et du magnétisme, s'est enrichie de deux appareils nouveaux fort intéressants par leurs principes. La machine électrique de Holtz et la machine électro-magnétique de Wilde ont l'une et l'autre pour effet de développer, au moyen d'une charge primitive faible, des quantités considérables de fluide électrique. Ce résultat, au premier abord paradoxal, est une conséquence immédiate de la *corrélation des forces physiques*. L'électricité dégagée équivaut au travail mécanique nécessaire pour mettre en mouvement les différentes pièces des appareils, et les phénomènes d'influence ou d'induction, qui se produisent entre les diverses parties des nouvelles machines électriques, sont comparables aux pistons, aux bielles, aux excentriques, aux intermédiaires de toutes sortes en usage dans les moteurs à vapeur pour transformer la chaleur du foyer en un travail déterminé. Si, pour un même travail développé, les appareils de Holtz ou de Wilde produisent des effets électriques plus énergiques que les anciennes machines, cela provient seulement d'un emploi meilleur de la force dont une plus faible partie est employée à des actions étrangères à la transformation que l'on cherche à accomplir.

I

MACHINE DE HOLTZ[1].

Cette machine électrique est une sorte d'électrophore continu, et tous les phénomènes qui s'y produisent sont des actions d'in-

[1] Le principe de cette machine a été indiqué par M. Holtz, en avril 1865 (Comptes rendus de l'Académie de Berlin) et la description complète a été publiée dans les *Annales* de Poggendorff, t. CXXVI (octobre 1865). — Le mémoire de M. Holtz a été traduit dans le *Philosophical Magazine* (février 1866), et commenté par M. Gaugain dans les *Annales de physique et de chimie* (juin 1866).

fluence explicables d'une manière complète par les théories de l'électricité statique.

L'appareil de M. Holtz (de Berlin) se compose essentiellement de deux plateaux de verre isolés et placés, en regard l'un de l'autre, à une petite distance. Le premier disque est plein et reçoit d'un axe qui le traverse un mouvement de rotation rapide. Le deuxième disque est fixe, un peu plus grand que le précédent, et présente deux entailles symétriques et placées aux extrémités d'un même diamètre. Sur les bords de ces évidements on a fixé dans des positions semblables deux armatures d'une substance faiblement conductrice (le papier est fort convenable), nous les distinguerons par les lettres h et h' ; ces armatures portent deux ou trois dents qui se prolongent dans l'intérieur des entailles. Au voisinage du plateau mobile et en regard des fenêtres du second disque se trouvent disposés deux conducteurs métalliques C et C′ correspondants aux armatures h et h', pouvant être réunis entre eux et terminés par des peignes analogues à ceux des machines électriques à frottement. Les diverses parties de l'appareil sont isolées par des pieds de verre vernis à la gomme laque ou par du caoutchouc durci.

Pour faire fonctionner la machine on commence par mettre en rotation le plateau mobile ; le sens de ce mouvement doit être tel que ses diverses parties se présentent d'abord aux dents des armatures de papier, puis à ces armatures elles-mêmes.

L'appareil étant en mouvement on électrise par contact, à l'aide d'un bâton de verre ou de résine, l'une quelconque des armatures. Supposons, par exemple, de l'électricité positive communiquée à l'armature h. Le fluide positif de h polarise le fluide neutre de la partie du disque mobile qui est en regard ; l'électricité négative est attirée à la partie interne, et l'électricité positive repoussée à la face externe du plateau y est neutralisée par du fluide négatif s'écoulant vers le disque de verre par la poignée du conducteur métallique C ; ce dernier se charge alors d'électricité positive. Par suite d'un simple phénomène d'influence, on a donc du fluide négatif à la face interne du plateau mobile et du fluide positif sur le conducteur.

La rotation de la machine éloigne bientôt la partie électrisée du disque plein, de l'armature h, et l'électricité qu'elle emporte réagit à son tour sur le fluide neutre du plateau fixe. L'attraction

exercée par le fluide polarisé du second plateau sur le fluide négatif du disque tournant maintient une partie de cette électricité à la face interne de ce disque et l'autre, devenue libre, se porte à la face externe. Les choses restent ainsi pendant une demi-rotation. A l'instant où la région considérée du plateau mobile parvient en regard de la seconde entaille, la totalité de son électricité négative se trouve libre; elle agit sur les pointes de l'armature h' qui se charge négativement, et le plateau revient à l'état neutre. Son passage devant l'armature h' l'électrise ensuite positivement et en même temps le second conducteur métallique C' se charge de fluide négatif.

L'electricité positive condensée à la face interne du disque mobile agit ensuite à son tour pour augmenter la charge positive de l'armature h.

Les mêmes phénomènes se reproduisant dans toutes les parties du disque mobile successivement amenées devant les deux fenêtres de la machine leur résultat définitif est d'accroître sans cesse la charge électrique des armatures jusqu'à une limite déterminée par la faculté isolante de l'air et des diverses pièces de l'appareil.

Le principe de la machine de Holtz est donc l'électrisation par influence d'un corps mauvais conducteur et mobile. La nécessité d'un plateau tournant de cette nature résulte de ce que ses deux parties sont chargées d'électricités contraires. Le plateau fixe doit aussi opposer une résistance considérable au mouvement de l'électricité, car sur les armatures de papier et sur la surface externe voisine du disque immobile existent des fluides de nom contraire. Le verre recouvert de vernis à la gomme laque est la substance qui d'après le savant physicien de Berlin réalise le mieux les conditions de non-conductibilité indispensables à la construction de la machine; mais il est évident que d'autres corps pourraient être employés. Toutes choses égales, il y a d'ailleurs avantage à accroître l'intensité des phénomènes d'influence par le rapprochement des deux plateaux.

L'appareil ordinaire de Holtz possède deux armatures; mais d'après la théorie précédente le nombre des éléments électriques (une armature et un cylindre conducteur) peut évidemment être porté à 4, à 6, en général à un même chiffre pair quelconque limité par la seule considération de ne point trop rapprocher les

armatures. —La machine étant en mouvement, l'électrisation positive directe de l'armature numéro 1 suffit pour charger de fluide positif toutes les armatures d'ordre impair et de fluide négatif les armatures d'ordre pair. Sur les conducteurs correspondants la distribution électrique est semblable, et en réunissant entre eux les conducteurs d'ordre pair d'une part, les conducteurs d'ordre impair d'autre part, on retombe pour les effets produits sur le cas d'un appareil à deux armatures; seulement la quantité d'électricité fournie par un nombre déterminé de tours du plateau mobile se trouve beaucoup accrue, car on a augmenté le nombre des points où, pendant un seul tour, le disque mobile se charge et se décharge.

Les conducteurs métalliques de la machine de Holtz se trouvent, avons-nous dit, chargés d'électricités de nom contraire ;si donc on les réunit il y aura entre eux un courant continu d'électricité, le fluide positif du premier venant neutraliser le fluide négatif du second. L'existence et le sens de ce courant peuvent facilement être mis en évidence en introduisant une boussole dans la série des conducteurs. La déviation de l'aiguille aimantée dans le sens indiqué par la théorie prouve l'existence du courant, et la faiblesse du déplacement montre qu'il n'y a qu'une petite quantité d'électricité mise en mouvement. En substituant un voltamètre à la boussole, l'eau est décomposée avec lenteur, mais néanmoins plus vite qu'à l'aide d'une machine à plateau d'égal diamètre. La machine de Holtz donne donc de l'électricité semblable à celle d'un appareil de Nairn, mais en plus grande quantité.

Pour obtenir des étincelles, il suffit de séparer les deux conducteurs qui forment le circuit. Les décharges électriques se succèdent alors d'une manière continue en donnant une véritable aigrette rouge violacé et d'apparence variable suivant les conditions de l'expérience. Entre deux boules, les différents filets lumineux, qui forment l'étincelle, sont presque parallèles, toutefois un peu plus rapprochés vers le pôle positif que vers le pôle négatif. Entre deux pointes, les filets s'entre-croisent de toutes les manières, et leur ensemble prend la forme d'un fuseau. Avec deux boules éloignées au maximum de distance, on voit deux aigrettes bien nettes; la négative est formée de filets très-courts; la positive, beaucoup plus longue, a l'apparence d'un filet unique qui va s'épanouissant.

La tension de l'électricité sur les conducteurs, et par conséquent la longueur des étincelles peut être notablement augmentée en faisant communiquer ces pièces avec l'une et l'autre armature d'un condensateur. Pour la commodité des expériences, la bouteille de Leyde a reçu de M. Holtz une forme spéciale qui permet de la placer avec facilité sur les conducteurs. Elle se compose d'un tube de verre fermé, et muni à ses extrémités de deux manchons de bois entaillés. Les armatures sont petites ; elles n'ont environ que le tiers de la longueur du tube, et leurs extrémités traversant les manchons sont chacune en communication avec l'un des conducteurs. A l'aide de la bouteille de Leyde, avec une machine dont le plateau mobile a 25 centimètres de diamètre, et entre deux boules, on peut obtenir des étincelles de 8 centimètres de longueur. L'étincelle est simple, d'un blanc intense, et formant de nombreux zigzags, à la manière de la décharge d'une batterie.

Pour une même vitesse de rotation de la machine, les étincelles, d'abord continues, diminuent de fréquence à mesure que la distance explosive augmente ; on arrive bientôt à un éloignement qu'il n'est pas possible de dépasser et à partir duquel on n'obtient plus aucune décharge, quelque grande que soit la vitesse du plateau mobile. La raison de ce fait est simple. La réunion des électricités de nom contraire accumulées sur les conducteurs peut s'effectuer par deux chemins différents. L'étincelle peut jaillir directement entre les deux boules, ou bien la décharge peut se produire des peignes vers le plateau mobile à la surface duquel les deux électricités se recomposent pour former du fluide neutre. En général, la résistance que présente ce dernier chemin est supérieure à celle de l'air, et la décharge se produit d'une manière normale entre les deux boules ; mais si leur écartement devient trop grand l'étincelle jaillit vers le plateau et la machine se trouve brusquement et presque entièrement déchargée.

Les propriétés de l'étincelle fournie par l'appareil de Holtz le rapprochent des anciennes machines à plateau, et on peut répéter avec lui presque toutes les expériences d'électricité statique qui exigent l'emploi simultané des deux fluides. Par la grande quantité d'électricité qu'elle fournit, la machine de Holtz est surtout propre à charger les bouteilles de Leyde ou les batteries.

Enfin, pour terminer la série des applications de ce nouvel appareil, nous devons ajouter que, à la manière des machines d'in-

duction faibles, il produit quelques effets physiologiques et l'incandescence des tubes de Geissler.

Un assez grand nombre de précautions expérimentales sont nécessaires au bon fonctionnement de la machine de Holtz. Ainsi il faut avoir soin de maintenir sur les disques de verre une propreté absolue ; les décharges électriques qui se produisent d'une manière continue entre les deux plateaux, et entre le plateau mobile et les peignes métalliques, altèrent rapidement le vernis à la gomme laque qui les recouvre, et la présence des poussières charbonneuses formées augmente dans de grandes proportions la conductibilité des surfaces, en même temps que les pointes qu'elles forment facilitent la déperdition par l'air. Par la même raison, les plateaux doivent être desséchés avec soin. Enfin, au moment de la mise en train de la machine, il est indispensable de faire communiquer entre eux les conducteurs métalliques; la charge initiale des armatures étant très-faible, la décomposition qu'elle provoque sur le plateau mobile serait bientôt limitée par l'action des fluides libres des conducteurs. En permettant à ces électricités de se réunir, la décomposition du fluide neutre du disque mobile est plus considérable, et la charge des armatures peut s'accroître rapidement.

L'origine de l'électricité produite dans la machine de Holtz n'est douteuse pour aucun physicien ; il suffit d'avoir manié quelquefois cet appareil pour obtenir la certitude qu'elle provient d'une transformation de la force employée à faire tourner le disque mobile. On observe, en effet, qu'à l'instant où la machine s'électrise, la résistance au mouvement augmente dans une proportion très-sensible, et, comme les frottements n'ont pas varié, on est bien obligé d'admettre que l'excès de travail développé correspond à l'électricité produite et lui sert de mesure. L'effet qui se produit dans la machine de Holtz est analogue à celui qu'on constate dans la célèbre expérience du disque tournant de M. Foucault. On sait, en effet, que, pour faire tourner un disque métallique non magnétique entre les deux pôles d'un fort électroaimant, il faut développer un effort considérable, infiniment supérieur à celui nécessaire pour vaincre l'inertie du système. En même temps, il se produit dans la masse métallique des courants induits énergiques, qui, circulant dans ses molécules, ne tardent pas à l'échauffer. Dans ce dernier cas, le travail nécessaire pour

entretenir le mouvement se transforme en électricité et puis en chaleur ; dans la machine de Holtz, on recueille directement l'électricité, et l'échauffement du disque est peu sensible.

II

MACHINE ÉLECTROMAGNÉTIQUE DE WILDE.

On sait depuis Faraday (1822) que, en enfonçant brusquement un aimant dans une bobine d'induction, il s'y développe un courant électrique de sens contraire à ceux qui, d'après la théorie d'Ampère, existent dans l'aimant. L'expérience peut évidemment être renversée, et, l'aimant restant fixe, il suffit, pour obtenir un courant d'induction, d'en approcher vivement la bobine de fils de cuivre. Les courants induits obtenus par la méthode de Faraday sont à leur tour capables d'aimanter un barreau de fer doux, et cet électroaimant peut ensuite, à la manière d'aimants véritables, développer des courants induits dans une spirale de fils de cuivre, qui s'en éloigne ou s'en approche avec rapidité.

L'appareil de Wilde réalise la série des phénomènes que nous venons de signaler, et, résultat très-remarquable, cet accouplement d'une machine magnétoélectrique et d'une machine électromagnétique produit des quantités énormes d'électricité.

Voici la description succincte des deux parties de l'appareil du physicien anglais[1].

La machine magnétoélectrique se composée d'un cylindre circulaire creux formé par la juxtaposition, suivant ses génératrices, de deux bandes de fer et de deux bandes de cuivre. Les deux bandes de fer, métal magnétique, sont en regard et séparées par les deux lames de cuivre, métal non magnétique. A cheval sur ce cylindre, nommé par Wilde *cylindre-aimant*, peuvent être disposés un ou plusieurs aimants en fer à cheval, de grandeur telle que leurs pôles touchent les deux bandes de fer, qui représentent ainsi les armatures et les pôles de l'ensemble des aimants. Dans l'intérieur de cette pièce se loge un cadre en cuivre et en bois, sur lequel on a enroulé dans le sens de la longueur, parallèlement aux

[1] La première description de la machine de Wilde a été lue devant la Société royale de Londres, le 26 avril 1866.

génératrices du cylindre, des fils de cuivre recouverts d'une enveloppe isolante. Une disposition mécanique, facile à imaginer, permet de donner à ce cadre un mouvement de rotation rapide autour de l'axe du cylindre-aimant. Les dimensions de la bobine interne sont calculées de manière que les fils passent le plus près possible des armatures des aimants.

Pendant la rotation de la bobine interne, les fils se rapprochent et s'éloignent alternativement des pôles d'un aimant, et il se produit dans leur intérieur un courant induit. Si on analyse avec soin les phénomènes, il est aisé de reconnaître que les courants qui naissent dans les deux parties symétriques de la bobine étant de même sens s'ajoutent, et que leur direction change brusquement à l'instant où les fils passent devant les aimants. Un commutateur, analogue à celui de l'appareil de Clarke, dirige dans le même sens ces deux ondes électriques.

Par des expériences directes faites avec une boussole des Tangentes, M. Wilde a reconnu que, pour une même vitesse de rotation, la quantité d'électricité produite était à peu près proportionnelle au nombre des aimants fixes placés sur le cylindre cuivre et fer.

En employant les courants d'induction à animer un électroaimant, le savant physicien anglais a aussi démontré que l'électroaimant était, suivant son poids, capable de porter jusqu'à 26 fois le poids maximum qu'on aurait pu suspendre à l'ensemble des aimants fixes. La grandeur de ce rapport croît d'ailleurs avec le volume du fer doux et ne semble pas avoir de limite.

Après avoir ainsi reconnu qu'un magnétisme intense pouvait être communiqué à un électroaimant, au moyen d'aimants permanents d'une faible force, il était raisonnable de penser que cet électroaimant serait à son tour la source de courants induits très-énergiques. M. Wilde construisit donc deux cylindres magnétiques d'un diamètre intérieur de 63 millimètres et d'une longueur de 32 centimètres environ, c'est-à-dire égale à 10 fois leur rayon [1]. Chacun de ces cylindres fut complété par une bobine intérieure, autour de laquelle étaient enroulés 20 mètres d'un fil de cuivre de

[1] Dans tous les appareils construits par Wilde la longueur des cylindres égale dix fois leur rayon en sorte que ce dernier suffit à faire connaître leurs dimensions.

4 millimètres environ de diamètre. Sur le cylindre magnétique furent fixés six aimants permanents. L'électroaimant du second se trouva formé de deux pièces rectangulaires de fer, enveloppées de fils conducteurs isolés. Un moteur à vapeur spécial permettait de donner aux bobines induites des deux appareils, machine magnétoélectrique et machine électromagnétique, une vitesse de rotation de 2,500 tours par minute, soit 417 révolutions par seconde.

Dans ces conditions, le courant de la machine magnétoélectrique était suffisant pour rougir un fil de fer de 76 millimètres de long et de 1 millimètre de diamètre, et celui de la machine électromagnétique fondait 20 centimètres et rougissait 60 centimètres de ce même fil.

Ces effets sont surprenants sans doute et dépassent de beaucoup ceux des anciens appareils magnétoélectriques; mais ils peuvent être rendus plus intenses encore à l'aide de machines de plus grandes dimensions, et par l'emploi simultané de trois ou d'un plus grand nombre de cylindres-aimants. Il est, en effet, bien évident, d'après ce que l'on observe avec deux appareils, que l'on gagne toujours quelque chose à l'addition d'un nouveau système électromagnétique.

Les courants les plus intenses que M. Wilde ait produits ont été obtenus en animant l'une par l'autre trois machines de 28, de 127 et de 254 millimètres de diamètre. La première portait 6 aimants permanents, et son armature intérieure faisait 2,500 tours par minute. L'armature de la seconde était animée de la même vitesse; mais, pour la troisième, on avait été forcé de réduire le nombre des rotations à 1,500 par minute. A l'aide de cet appareil, on a pu rougir $6^{m},40$ d'un fil de fer ayant 1 millimètre et demi de diamètre, et fondre 2 mètres de ce même fil.

En faisant passer les courants induits, produits par cette machine, entre deux charbons de cornue d'un demi-pouce carré de section, on obtient une lumière dont l'intensité défie toute comparaison. A un quart de mille de distance, la clarté est suffisante pour donner sur un écran l'ombre de la flamme d'une lampe à huile ordinaire, et un papier photographique, placé pendant 12 secondes à 60 centimètres de l'arc lumineux est noirci à l'égal d'un papier semblable, exposé pendant 1 minute au soleil des plus beaux jours de l'été.

La production de ces effets, étonnants par leur puissance, exige le développement d'un travail considérable. Pour mettre en mouvement une des grandes machines de Wilde, il est nécessaire de faire usage d'une machine à vapeur de trois chevaux de force effective ; ce fait ne doit laisser aucun doute sur l'origine mécanique des courants obtenus.

Les brevets de Wilde ont été acquis pour la France, par la Compagnie *l'Alliance*, qui se propose d'employer cet appareil à l'éclairage des phares. Divers essais ont déjà été faits dans ce sens par une commission anglaise; mais les résultats ne sont point encore connus, et il serait prématuré de juger de l'importance industrielle de cette application. Nous aurons, du reste, occasion de revenir sur la machine de Wilde, dont un modèle doit figurer à l'exposition universelle de 1867.

GEORGES RAYET.

III

SÉPARATION DES GAZ AU MOYEN DE DIAPHRAGMES EN CAOUTCHOUC

M. TH. GRAHAM.

Dans l'article sur les *hautes Températures*, inséré dans le quatrième volume de ce recueil, nous avons déjà entretenu le lecteur des curieuses expériences, dues à M. Th. Graham, sur le passage des gaz au travers de parois poreuses. On se rappelle que si on fait pénétrer dans un cylindre terminé par une mince feuille de graphite et retourné sur le mercure comme une cloche à gaz ordinaire, une certaine quantité d'hydrogène, celui-ci ne tarde pas à disparaître, tandis que de l'air passant au travers du diaphragme poreux de dehors en dedans vient remplacer en partie l'hydrogène disparu. L'air n'entre pas cependant aussi facilement dans le cylindre que l'hydrogène en sort, et le niveau du mercure s'élève sous l'influence de la pression atmosphérique extérieure incomplétement balancée par le gaz intérieur.

Dans ce même travail, nous rapportions une expérience encore plus singulière de MM. H. Sainte-Claire Deville et Troost, qui démontrait qu'un tube d'acier fondu porté au rouge blanc laisse complétement filtrer l'hydrogène qu'il renferme, tellement, qu'un vide presque complet s'y établit rapidement.

M. Th. Graham a continué cette année ses curieuses recherches et annonçait récemment à l'Académie un fait des plus inattendus [1]. Quand on fait le vide dans un ballon de caoutchouc ou dans un sac de soie vernissé avec du caoutchouc en l'empêchant de s'affaisser au moyen de sciure de bois ou de feutre et qu'on recueille le gaz qui pénètre au travers de cette membrane pour remplir le vide déterminé dans l'appareil par le jeu de la machine pneumatique, on trouve qu'il renferme « d'une façon très-constante, 41, 6 p. 100 d'oxygène au lieu de 21 que renferme l'air ordinaire. La cloison de caoutchouc retient la moitié de l'azote et laisse passer l'autre moitié avec la totalité de l'oxygène. Cet air dialysé rallume le bois incandescent, il se trouve en somme exactement intermédiaire entre l'air et l'oxygène pur, en ce qui concerne tous les phénomènes de la combustion. »

Tel est le fait nouveau découvert par M. Th. Graham. L'interprétation qu'il en donne n'est pas moins curieuse. Pour lui, les corps poreux susceptibles d'absorber les gaz, déterminent vraisemblablement leur liquéfaction. Les métaux de la famille du platine possèdent la propriété curieuse de condenser les gaz, le palladium forgé condense jusqu'à 660 fois son volume d'hydrogène, à l'état de noir, le platine absorbe aussi plusieurs centaines de volumes de ce gaz, et d'après M. Graham, « la liquéfaction présumée de l'hydrogène dans ces circonstances paraît constituer la condition essentielle de son oxydation à basse température. » Si donc la membrane de caoutchouc détermine la séparation de l'azote et de l'oxygène, c'est que cette pellicule « a la propriété de liquéfier chacun des gaz dont l'air se compose, tandis que l'oxygène et l'azote sous la forme liquide sont susceptibles de pénétrer dans la substance de la membrane (à la manière de l'éther et du naphte), et peuvent de nouveau s'évaporer dans le vide et reparaître à l'état gazeux. »

Tout le monde sait que lorsqu'on fait passer dans une cloche de gaz ammoniac ou d'acide chlorhydrique un charbon tiré d'un foyer

[1] *Comptes rendus*, t. LXIII, p. 471. 1866.

et éteint sous le mercure, on voit le gaz disparaître ; il est dans ce cas *absorbé* par le charbon. Qu'est-ce que cette absorption? C'est certainement une condensation des molécules gazeuses dans les pores de la matière solide. Cette condensation est toujours accompagnée d'un dégagement de chaleur. L'incandescence de la mousse de platine plongée dans l'hydrogène démontre clairement que la chaleur est dégagée comme dans une liquéfaction; ainsi, bien qu'on ne puisse voir l'hydrogène liquéfié dans la mousse de platine ou le gaz ammoniac dans le charbon, il est possible que cette liquéfaction ait lieu, M. Th. Graham, nous l'avons vu, suppose qu'elle se produit également au moment où l'air atmosphérique pénètre dans les pores de la membrane de caoutchouc ; bien que nous ayons quelque peine à nous représenter l'oxygène et l'azote, qui résistent aux plus fortes pressions, passant à l'état liquide sous l'influence d'une membrane poreuse, nous concevons cependant par analogie, avec les faits précédents, que cette liquéfaction soit possible. Nous devons donc alors nous figurer l'azote et l'oxygène condensés dans les pores du caoutchouc comme deux liquides différents placés au contact d'une membrane qu'ils doivent traverser, et nous comprenons que ces deux liquides puissent cheminer au travers de cette membrane avec des vitesses différentes, comme l'eau et l'alcool, par exemple, passent inégalement vite au travers d'une vessie ; arrivés à la surface intérieure de la membrane, les liquides reprennent l'état gazeux et se présentent à nous suivant le rapport énoncé plus haut.

Cette découverte de M. Th. Graham nous paraît grosse de conséquences : nous constatons à chaque instant dans la nature vivante le passage des gaz au travers de membranes poreuses, et il sera du plus haut intérêt de déterminer si cette endosmose est accompagnée d'un changement de composition ; dans l'industrie même ces pénétrations de gaz sont fréquentes, et les expériences ramarquables de M. Th. Graham éclaireront sans doute d'un jour nouveau plusieurs théories encore confuses et notamment celle de la cémentation.

P. P. Dehérain.

NOTICE NÉCROLOGIQUE.

M. VERDET

Le monde savant a perdu au printemps de cette année un homme considérable par l'influence de son enseignement sur le développement des sciences physiques. M. Verdet, naguère professeur de physique à l'École normale supérieure, à l'École polytechnique et à la Sorbonne, a succombé le 3 juin 1866, à Avignon, où il était allé chercher un peu de repos au sein de sa famille, au progrès rapide d'une ossification des artères de la tête. Ses amis et ses élèves, dont il était éloigné depuis deux mois à peine, ont appris en même temps sa maladie et sa mort.

M. Verdet (Marcel-Émile) était né à Nîmes le 13 mars 1824. Après de brillantes études universitaires, commencées à Lyon et terminées à Paris, au collége Rollin, il fut, en 1842, reçu le sixième à l'École polytechnique et le premier à l'École normale supérieure. Il opta pour cette dernière école. Les élèves des sciences et ceux des lettres suivaient alors en commun les cours de philosophie, et, dans plusieurs cas, le jeune chef de section montra, par sa supériorité bien marquée, que, pour une intelligence distinguée, l'étude des sciences n'exclut pas le goût des spéculations philosophiques et littéraires.

Reçu le premier et hors ligne à l'agrégation des sciences physiques en 1845, M. Verdet fut immédiatement nommé professeur au lycée Henri IV, puis trois ans après (1848) attaché à l'École normale ; il ne devait plus la quitter. Dans les laboratoires de cet établissement, ont été faites toutes les expériences relatives à ses mémoires scientifiques.

Les travaux de physique qu'il a publiés se rapportent à deux ordres d'idées : de 1848 à 1851, son attention se porta sur les phénomènes d'induction ; de 1851 à 1865, ses investigations ont eu principalement pour but la solution de questions d'optique supérieure, et c'est de problèmes de cet ordre qu'il s'occupait encore dans les derniers temps de son séjour à Paris.

Les recherches sur l'induction font l'objet de trois importants

mémoires successivement imprimés dans les *Annales de physique et de chimie*. Le premier de ses mémoires (il servit à M. Verdet de thèse pour le doctorat, 28 novembre 1848) a pour titre : *Recherches sur l'induction des décharges Leydo-électriques*[1]. Dans ce travail, le jeune physicien étudie, à l'aide du phénomène de polarisation des électrodes, l'influence des solutions de continuité et de la forme du circuit induit sur les courants induits primaires directs et inverses, qui résultent de la décharge d'une bouteille de Leyde ou d'une batterie. Dans un second mémoire[2], qui parut deux ans après, la même méthode de recherche est employée à examiner les variations d'intensité qui, dans les mêmes circonstances, affectent les courants induits d'ordre supérieur.

Les deux travaux dont nous venons d'indiquer les sujets révèlent le caractère spécial de tous les écrits de M. Verdet. L'un et l'autre renferment une critique savante des recherches antérieures, et une interprétation toujours exacte et toujours complète des expériences.

Le mémoire sur les *phénomènes d'induction produits par le mouvement des métaux magnétiqaes ou non magnétiques*[3] fut présenté à l'Académie des sciences le 26 août 1850. Les expériences de Breguet, de W. Weber, de Faraday donnaient sur ce sujet des résultats incomplets, quelquefois contradictoires, et c'était un point de théorie intéressant à examiner que de savoir si les courants électriques développés dans ces circonstances obéissaient aux lois ordinaires de l'induction. Par l'étude des phénomènes qui se produisent dans la machine électro-magnétique de Page, M. Verdet a pu montrer que les courants d'induction, qui prennent naissance dans une masse métallique, magnétique ou non magnétique, animée d'un mouvement de rotation au-devant d'un solénoïde ou d'un aimant, s'expliquent par les lois ordinaires de l'induction, si on a égard à l'influence du temps par laquelle Faraday avait déjà expliqué le magnétisme de rotation.

Depuis la publication de ce travail, M. Verdet n'est revenu

[1] *Annales de physique et de chimie*, 3e série, t. XXIV, 1848.

[2] *Sur les courants induits d'ordres supérieurs produits par la décharge d'une bouteille de Leyde, Annales de physique et chimie*, 3e série, t. XXIX, 1850.

[3] *Annales de physique et de chimie*, 3e série, t, XXXI, 1851.

qu'une seule fois[1] sur les phénomènes d'induction, et tous ses autres mémoires se rapportent à des questions d'optique.

En janvier 1851, il débute dans ce nouvel ordre de recherches par une rectification de la démonstration à l'aide de laquelle Fresnel, partant de l'impossibilité de faire interférer des rayons de lumière polarisés à angle droit, arrive au principe des vibrations transversales de la lumière[2]. Ce principe, que les vibrations de la lumière sont perpendiculaires à la direction de sa propagation, est fondamental dans la *Théorie des ondulations*, et sa démonstration rigoureuse est un fait capital.

Bientôt après (17 février 1851), M. Verdet présentait à l'Académie des sciences un *Mémoire sur l'intensité des images lumineuses formées au foyer des lentilles et des miroirs*[3]. L'expérience journalière des opticiens avait depuis longtemps appris que, pour des distances focales égales, l'intensité lumineuse des images d'un même objet est proportionnelle à la surface de l'objectif ou du miroir. Dans le cas d'un point lumineux de dimensions infiniment petites, la théorie des ondulations fait voir que l'intensité de l'image doit être proportionnelle au carré de la surface de la lentille; un corps lumineux pouvant être considéré comme la réunion d'une série de points lumineux, il semble que l'intensité de son image doit, elle aussi, être proportionnelle au carré de la surface de la lentille. Dans son travail, M. Verdet montre d'abord la nécessité de tenir compte, dans le calcul de la quantité de lumière que renferme l'image d'un objet de diamètre apparent sensible, des phénomènes d'interférence qui se produisent entre les vibrations émises par deux points voisins, appliquant ensuite les formules mathématiques de la diffraction, il fait voir que la théorie des ondulations conduit à la vérification de la remarque énoncée par les opticiens.

La note publiée en 1852 *sur le Phénomène des couronnes*[4] est, comme le travail précédent, un mémoire d'optique mathématique. M. Verdet, complétant l'explication, seulement entrevue

[1] *Annales de physique et de chimie*, 3e série, t. LIII, 1858. — *Note sur le Mémoire de M. Masson sur les courants d'induction.*

[2] *Annales de physique et de chimie*, 3e série, t. XXXI, 1851.

[3] *Annales de physique et de chimie*, 3e série, t. XXXI, 1851.

[4] *Annales de physique et de chimie*, 3e série, t. XXXIV, 1852.

par M. Babinet, donne la première théorie exacte de ce curieux effet de diffraction.

A ces recherches d'optique mathématique succéda immédiatement l'*Étude expérimentale de la polarisation rotatoire magnétique*, découverte par Faraday le 27 novembre 1845. Les travaux de M. Verdet à ce sujet forment trois mémoires [1].

Les deux premiers, lus à l'Académie des sciences le 29 mars et le 18 septembre 1854, ont pour objet de démontrer, par des expériences rigoureuses, que la rotation du plan de polarisation est proportionnelle à la composante de l'action magnétique parallèle à la direction du rayon lumineux. Le troisième mémoire, présenté à l'Académie en trois parties, le 8 septembre 1856, le 8 juin et le 6 juillet 1857, a pour but de faire voir que, lorsqu'un sel se dissout dans l'eau, l'eau et le sel apportent chacun dans la dissolution leur pouvoir rotatoire magnétique spécial, et que la rotation produite par la dissolution est la somme des rotations individuelles dues aux molécules de l'une et de l'autre substance. Le sens et la grandeur des rotations n'ont d'ailleurs aucune relation avec une propriété quelconque des corps.

Les trois mémoires dont nous venons d'indiquer les résultats renferment une étude expérimentale complète de la polarisation magnétique ; mais aucun d'eux ne donne l'interprétation théorique du phénomène. Cette interprétation présente, en effet, de grandes difficultés. Pendant les années où M. Verdet fut notre professeur à l'Ecole normale, nous l'avons souvent vu reprendre ses recherches sur le même sujet. Peut-être trouvera-t-on dans ses papiers les résultats de ses récents travaux.

Le dernier mémoire qu'il a publié est relatif à la *Constitution de la lumière non polarisée et de la lumière partiellement polarisée* [2]. On doit considérer cet écrit comme un exposé didactique de l'enseignement qu'il donnait sur ce sujet aux élèves de l'École normale.

En étudiant la carrière scientifique de M. Verdet et en recherchant l'influence qu'il a exercée sur les progrès de la physique, il ne faut négliger ni le critique ni le professeur.

[1] *Annales de physique et de chimie*, 3e série, t. XLI, 1854; t. XLV, 1855; t. LII, 1858.

[2] *Annales scientifiques de l'École normale supérieure*, t. II, 1865.

Comme critique, il a, de 1852 à 1866, rédigé, dans les *Annales de physique et de chimie*, l'analyse des travaux de physique parus à l'étranger. Les notices qu'il écrivait à ce sujet sont souvent de véritables mémoires, remarquables par la manière dont il savait, d'une rédaction longue et diffuse, comme le sont souvent celles des savants anglais et allemands, faire jaillir le fait important et les conséquences les plus intéressantes. Ces notices, à l'origine de simples analyses, étaient, dans les derniers temps, devenues de véritables appréciations. La partie vraiment neuve d'un travail n'échappait jamais à M. Verdet; mais il était sans pitié pour les copistes et les plagiaires. Une mémoire excellente le secondait admirablement dans cette œuvre de justice scientifique.

Comme professeur, d'abord à l'École normale (1848), puis à l'École polytechnique (1862)[1], et enfin à la Sorbonne (1865), M. Verdet s'était attiré l'estime et l'attachement de tous ses élèves. A l'École normale surtout, son enseignement était suivi avec ardeur; ses leçons, rédigées par les premiers élèves de chaque promotion, se transmettaient d'année en année, et leur ensemble devait bientôt former un tout complet. Il avait promis de revoir l'ensemble de ces rédactions et d'en autoriser la publication. Si la mort prématurée du professeur empêche de réaliser complétement ce projet, il recevra néanmoins un commencement d'exécution; sa famille et ses anciens élèves ont, comme un pieux hommage à sa mémoire, résolu de publier ceux des cours qui, comme les *Leçons d'optique* et les *Leçons sur la théorie mécanique de la chaleur*, forment un tout complet.

A l'École normale, ce que nous admirions dans M. Verdet, c'était le physicien érudit et le professeur élégant, clair et correct. Dans ses descriptions d'expériences, on trouvait une appréciation exacte de l'importance des diverses causes d'erreur et du degré de précision des résultats obtenus. La nature critique de son esprit lui rendait cette tâche facile, et l'on peut juger par là combien son enseignement était au-dessus de celui qu'on peut puiser dans la plupart des livres. Si, depuis quelques années, une révolution véritable s'est accomplie dans l'enseignement de la physique, nous en sommes certainement redevables à ses leçons,

[1] En 1851, M. Verdet avait été nommé examinateur suppléant d'admission à l'École polytechnique, en 1852, il devint examinateur titulaire. De 1855 à 1862 il se trouva chargé des examens de sortie.

dans lesquelles les professeurs sortis de l'École normale depuis une dizaine d'années ont tous puisé des modèles.

Après une longue attente, les portes du haut enseignement s'ouvraient enfin devant M. Verdet. Il y a trois ans (1863), M. Lamé, forcé d'abandonner la chaire de physique mathématique de la Sorbonne, choisit le professeur de l'École normale pour son suppléant. La théorie mécanique de la chaleur fut l'objet du nouveau cours, et, pendant deux ans, M. Verdet, environné de ses anciens élèves, tous devenus ses amis et presque tous professeurs eux-mêmes, développa avec une merveilleuse clarté les considérations souvent délicates sur lesquelles Robert Mayer, Joule, Thomson, le major Rankine, ont assis l'importante doctrine de l'équivalence mécanique de la chaleur et du travail.

L'enseignement de M. Verdet s'est, en général, adressé à des auditeurs préparés, par leurs études antérieures, à l'examen des théories les plus élevées de la physique, et façonnés depuis longtemps à la rigueur et à la sécheresse des raisonnements mathématiques. Dans deux circonstances cependant, le professeur de l'École normale a eu à parler devant des assemblées d'un autre ordre : la première fois (7 et 21 février 1862), c'était à la Société chimique, et l'entretien avait pour objet la théorie mécanique de la chaleur[1]; la seconde fois (22 février 1865), il se proposait de faire connaître aux membres de l'association scientifique de France ceux des travaux d'Helmholtz qui sont relatifs aux timbres des sons.

Les deux conférences sur la théorie mécanique de la chaleur sont un véritable modèle de ce genre d'enseignement public, qui doit avoir pour but d'offrir aux auditeurs « tout ce qu'un savant voué à l'étude d'une science spéciale, mais préoccupé de la connexion de cette science avec les autres, aurait intérêt à connaître dans les sciences qu'il ne cultive pas. » On ne sait qui l'on doit admirer le plus de l'orateur correct et élégant, ou du professeur capable d'entraîner sans fatigue ses auditeurs à travers la question la plus délicate de la physique. La leçon sur les travaux d'Helmholtz est aussi une exposition fort remarquable; mais le sujet convenait moins aux aptitudes particulières de M. Verdet,

[1] Ces deux leçons rédigées et annotées par M. Verdet lui-même ont été publiées dans le recueil des *Leçons de la Société chimique*, année 1862.

que la nature spéciale de son esprit entraînait vers les questions où l'analyse mathématique et l'interprétation des expériences physiques se prêtent constamment un mutuel appui.

Dans ces dernières années, les courts instants que laissait à M. Verdet la préparation des cours de l'École normale, de l'École polytechnique et de la Sorbonne, il les consacrait à la publication des œuvres de Fresnel; déjà la préface était achevée. Espérons que les amis de la science ne seront pas privés des appréciations qu'il avait jointes aux mémoires de l'illustre auteur de la théorie des ondulations.

La renommée de M. Verdet avait depuis longtemps dépassé les limites du monde universitaire et il dû trouver une vive satisfaction dans les distinctions qui, sans brigue de sa part, lui étaient offertes par les corps savants de France et de l'étranger. La Société philomathique de Paris l'avait admis dans son sein depuis 1851; en 1854 la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève lui faisait parvenir le diplôme de membre honoraire; l'année suivante il entrait dans la Société des naturalistes de Halle; enfin, en 1860, il devenait correspondant de l'association britannique. M. Verdet était depuis le 13 août 1864 chevalier de la légion d'honneur, et deux fois (1851 et 1863) l'Académie des sciences avait discuté ses titres à une place dans la section de physique; le titre d'académicien lui était assuré par l'importance de ses travaux et il eut dignement couronné sa carrière scientifique.

Georges Rayet.

CHIMIE

I

L'ISOMÉRIE ET L'ORIGINE DES PÉTROLES

TRAVAUX RÉCENTS DE M. BERTHELOT [1].

Nous avons déjà attiré l'attention du lecteur sur les pétroles [2], sur ces carbures d'hydrogène inflammables et dangereux que la Pensylvanie nous envoie en quantités si considérables et dont la consommation s'accroît chaque jour. Il est sans doute inutile de s'élever contre l'emploi d'une matière qui fournit une lumière éclatante à un prix relativement modéré, mais on ne saurait en revanche répéter trop souvent que ces liquides sont d'un maniement difficile et qu'il importe de s'armer de précautions quand on en doit faire un usage habituel ; les accidents dont ils sont l'occasion sont plus fréquents dans les manipulations commerciales que dans les usages domestiques, et cependant il existe un appareil qui diminuerait beaucoup les chances d'incendie dans les magasins où l'on conserve les pétroles et dans les établissements où l'on utilise des quantités notables de ces liquides. La lampe des mineurs devrait non-seulement être employée dans les houillères, mais encore dans tous les endroits où l'on peut craindre qu'une matière combustible, liquide ou gazeuse, ne prenne feu au contact d'une flamme.

La disposition particulière à la lampe des mineurs imaginée par sir H. Davy repose sur la grande conductibilité des métaux pour la chaleur, conductibilité telle que si on écrase une flamme avec une toile métallique, on voit la flamme s'aplatir au-dessous de cette toile sans pouvoir la traverser, car le gaz combustible

[1] *Comptes rendus*, t. LXII, 1866, p. 969.— Leçons de chimie professées devant la Société chimique de Paris, en 1864. — Hachette, 1866.

[2] *Annuaire scientifique*, 3e année, 1864, p. 393.

perd assez de chaleur par son contact avec le métal pour ne plus pouvoir brûler, si on ne l'échauffe de nouveau. En jetant de l'éther ou des pétroles sur une lampe de Davy, on reconnaît qu'elle peut être utilisée pour éviter les accidents dans les usines et dans les entrepôts où ces liquides sont employés, car ils coulent sur la toile métallique sans s'enflammer.

Qu'on nous pardonne cette digression, à laquelle nous conduit le souvenir de nombreux accidents arrivés cette année même[1].

Nous ne voulons pas aujourd'hui discuter l'usage des pétroles, mais leur origine. On attribue généralement, et avec raison dans la plupart des cas, la formation de ces matières riches en charbon, houille, anthracite, lignite, etc., à la décomposition au sein de la terre de débris d'origine organique; mais faut-il croire que les carbures d'hydrogène, les bitumes qui se dégagent de l'épaisseur de l'écorce terrestre, souvent en grande abondance, d'une manière continue et en sortant de profondeurs qui semblent dépasser les terrains stratifiés, faut-il croire, disons-nous, que ces combustibles résultent toujours, et d'une manière nécessaire, d'une matière organique préexistante? En est-il ainsi, notamment, des carbures d'hydrogène si souvent observés dans les émanations volcaniques[2]? On pouvait en douter. Toutefois, avant les travaux entrepris, depuis une dizaine d'années, avec tant de persévérance et de succès par M. Berthelot sur la synthèse des hydrogènes carbonés[3], on n'avait, sur la formation de ces matières à l'aide de l'acide carbonique et de la vapeur d'eau, que des idées trop confuses pour qu'il fût possible d'affirmer que les carbures d'hydrogène sont souvent d'origine purement minérale.

Les réactions qui leur donnent naissance dans le laboratoire, analogues sans doute à celles qui les produisent dans le sein de la terre, conduisent à des idées nouvelles sur la synthèse des matières organiques et sur l'isomérie, qu'il nous a paru utile de présenter au lecteur.

[1] Plusieurs personnes sont mortes récemment des suite des brûlures reçues au Cirque de l'Impératrice, la cause du sinistre était un tonneau de pétrole enflammé par accident. La ville d'Anvers a été ravagé cette année même, par un incendie qui s'est déclaré dans un magasin de pétrole.

[2] Voyez dans l'*Annuaire scientifique*, 5e année, 1866, les *Volcans*, p. 147.

[3] Voyez sur les travaux de M. Berthelot, *Annuaire scientifique*, 1re année, p. 71 et 2e année, p. 106

I

De l'isomérie en général. — Les essences de citron, d'orange, de térébenthine ont la même composition. — De la polymérie. — Exemples parmi les hydrogènes carbonés ; parmi les hydrates de carbone. — Des causes de la polymérie. — Corps complets, et corps incomplets.

Il ne suffit pas, pour que deux corps soient identiques, qu'ils soient formés par la même espèce de matière, s'ils sont simples, ou par des poids égaux de matières semblables, s'ils sont composés, il faut encore que les atomes dont nous pouvons supposer les corps formés soient disposés dans le même ordre et présentent le même arrangement. Si nous reconnaissons que deux fragments de phosphore blanc, fusibles et volatils à la même température, cristallins, oxydables dans les mêmes conditions, également vénéneux, appartiennent à la même espèce et constituent des fragments d'un seul et même corps ; nous savons que le phosphore peut encore être amorphe, médiocrement oxydable, non vénéneux, rouge ; et nous en concluons que, bien qu'il soit formé d'une matière semblable à celle qui constitue le phosphore blanc, puisque sans changement de poids, sans addition d'aucune sorte, on transforme l'une des deux matières en l'autre, cette matière unique doit présenter dans les deux phosphores des arrangements différents.

Nous rencontrons dans les matières organiques, formées pour la plupart de trois corps simples, charbon, oxygène et hydrogène, ou même de deux corps simples, charbon et hydrogène, des substances qui sont formées de poids semblables des mêmes matières et qui sont cependant différentes les unes des autres par leurs propriétés : l'amidon et la fécule qui existent dans les graines et les tubercules végétaux, les celluloses qui forme le squelette des plantes sont formées de carbone, d'hydrogène et d'oxygène, unis dans les mêmes rapports ; les essences de citron, d'orange ou de térébenthine, bien différentes dans leurs odeurs, présentent encore des compositions semblables. Ces faits ont depuis longtemps frappé les chimistes, qui désignent cette identité de composition associée à des propriétés différentes sous le nom d'*isomérie ;* les corps *isomères* semblables par leur composition diffèrent donc par leurs propriétés.

Une comparaison suffira sans doute à éclairer ce qu'il y a d'obscur dans un fait semblable. Imaginons une série de dés de différentes couleurs que, pour plus de simplicité, nous supposerons de mêmes dimensions, et combinons ces dés de façon à produire des figures de différents aspects, pour avoir une représentation grossière de l'isomérie.

Prenons d'abord douze dés de même couleur, et nous pourrons en placer quatre à côté les uns des autres sur une seule ligne; puis superposer à cette première rangée deux autres assises de quatre dés. D'autre part, plaçons six dés à côté les uns des autres, il nous en reste seulement six autres à placer au-dessus, les deux figures comprennent le même nombre de dés arrangés dans deux ordres différents, et peuvent nous aider à comprendre la différence de propriétés des deux phosphores.

Faisons actuellement des figures plus variées en nous servant de dés noirs qui nous représenteront le carbone et de dés bleus, auxquels nous ferons jouer le rôle de l'hydrogène, et comme les chimistes supposent dans les essences de citron, d'orange et de térébenthine 20 atomes de carbone et 16 d'hydrogène; prenons 120 dés noirs et 16 dés bleus, arrangeons-les en groupes variés, et ils nous figureront les diverses essences formées des mêmes poids des mêmes matières, arrangées dans des ordres différents. Nous avons là une première idée de l'isomérie, mais le cas que nous devons particulièrement étudier est un peu plus compliqué. Les chimistes arrivent à connaître la composition des corps par l'analyse. Étant donné un corps composé comme l'essence de térébenthine, par exemple, formée de carbone et d'hydrogène, ils s'efforcent de séparer ces deux éléments pour les peser et trouver le rapport suivant lequel ils sont combinés. Ils brûlent, par exemple, un certain poids d'essence de térébenthine, forment avec le carbone de l'acide carbonique gazeux facile à recueillir dans de la potasse caustique, avec l'hydrogène de l'eau qui se condense dans un tube, renfermant de l'acide sulfurique, et comme ils connaissent le poids de carbone existant dans l'acide carbonique, celui de l'hydrogène existant dans l'eau, ils trouvent ainsi le rapport dans lequel le carbone et l'hydrogène sont unis, mais ils ne trouvent que ce rapport et non le nombre absolu d'atomes de carbone et d'hydrogène qui constituent cette essence de térébenthine; on conçoit donc que deux corps puissent être isomères, simplement parce qu'ils renferment les

mêmes matières unies dans des rapports semblables, bien que le poids total de chacun des corps simples entrant dans la molécule de l'un et de l'autre ne soient pas semblables. Reprenons nos dés noirs et bleus pour nous rendre compte de ce second cas d'isomérie, arrangeons nos 20 cubes de carbone sur quatre lignes, comprenant chacune cinq dés, puis de chaque côté flanquons-les de quatre assises de deux dés bleus et nous aurons une première représentation d'un corps dans lequel les atomes de carbone sont à ceux d'hydrogène dans le rapport de 20 à 16, ou encore dans celui de 5 à 4, de telle sorte qu'un second édifice de dés noirs et bleus formé seulement d'une assise précédente, c'est-à-dire d'une seule rangée de cinq dés noirs flanqués de chaque côté de deux dés bleus, représenterait encore ce rapport, et qu'une matière formée ainsi serait encore isomère avec celle qui renfermait 20 atomes de carbone pour 16 d'hydrogène.

On désigne sous le nom de polymérie cette isomérie particulière due à l'agglutination de plusieurs molécules semblables ; l'essence de térébenthine va nous en offrir un exemple ; lorsqu'on la chauffe vers 250° dans un tube fermé à l'abri du contact de l'air, on la métamorphose en une matière plus dense moins volatile et présentant une composition semblable à celle de l'essence de térébenthine elle-même : on admet dans ce cas que deux molécules d'essence de térébenthine se sont unies pour donner une combinaison plus complexe.

L'analyse, nous l'avons dit, est impuissante à dévoiler la différence qui existe entre l'essence de térébenthine normale et la combinaison isomère obtenue sous l'influence de la chaleur, mais l'étude des propriétés physiques peut fournir des renseignements précieux. Elle démontre que lorsque des molécules semblables s'agglutinent ainsi les unes aux autres pour fournir des polymères, la densité augmente, la volatilité diminue : un corps gazeux donne un polymère liquide, puis solide si la complexité de la molécule augmente encore. On suit cette métamorphose avec la plus grande netteté dans l'étude des carbures d'hydrogène isomères du gaz oléfiant qui se rencontre dans notre gaz d'éclairage. Cette matière que les chimistes formulent C^4H^4 est gazeuse à la température ordinaire, et très-difficile à liquéfier ; on tire de l'huile de pommes de terre un autre carbure d'hydrogène formulé $C^{10}H^{10}$. Celui-là est liquide, mais très-volatil ; quand on le soumet à l'action d'une

température plus élevée, il se combine à lui-même pour donner successivement $C^{20} H^{20}$, $C^{30} H^{30}$, $C^{60} H^{60}$, matières encore formées de carbone et d'hydrogène dans les mêmes rapports que le gaz oléfiant, mais dont les premières sont liquides et de moins en moins volatiles, la dernière étant solide à la température ordinaire au lieu d'être gazeuse.

On pourra se faire une idée de la condensation qu'éprouvent ces composés en s'unissant les uns avec les autres, par l'artifice suivant : le gaz oléfiant est formé de 4 atomes de carbone unis à 4 atomes d'hydrogène. Représentons-le par 4 dés noirs et 4 dés bleus que nous allons disposer sur un carré de un décimètre de côté à une certaine distance les uns des autres, chacun des dés noirs accolé à un dé bleu occupant un des angles du carré ; la molécule complexe est ici peu condensée, le corps est gazeux. Nous savons qu'on peut souvent liquéfier un gaz en le soumettant à une pression considérable ou à un froid excessif, opérations qui ont manifestement pour effet de rapprocher les molécules gazeuses trop écartées pour pouvoir se souder les unes aux autres ; si donc nous représentons la substance liquide $C^{10} H^{10}$ par dix dés noirs et dix dés bleus répartis encore dans cet espace de un décimètre de côté, nous aurons une représentation d'une matière plus *condensée*, dans laquelle les atomes plus rapprochés forment un système liquide à la température ordinaire ; si dans ce même espace enfin, au lieu de dix dés bleus et de dix dés noirs, nous en accumulons soixante, nous aurons une matière encore bien plus condensée, qui sera solide à la température ordinaire et médiocrement volatile.

Toutes les substances ne sont pas susceptibles d'éprouver des modifications isomériques. En étudiant les matières qui présentent cette propriété, M. Berthelot a donné récemment une théorie très-ingénieuse de la formation des composés polymériques[1]. En examinant les réactions auxquelles se prêtent les corps composés, on reconnaît que les uns sont facilement modifiés par substitution, tandis que les autres sont susceptibles d'addition. On ne pourra ajouter un atome d'oxygène ou de chlore à l'alcool ordinaire qu'en lui enlevant du même coup une de ses molécules intégrantes ; tandis qu'il sera facile de fixer sur le gaz oléfiant dont nous parlions il y a un instant, de l'oxygène, du chlore, de l'iode, sans qu'il

[1] Leçons professées devant la Société chimique de Paris.

perde une quantité de matière équivalente à celle qu'il acquiert. L'un paraît être un corps complet, achevé, dont toutes les parties sont nettement équilibrées; on ne peut rien lui ajouter sans avoir préalablement pratiqué un vide; tandis que le second, au contraire, serait une molécule incomplète, susceptible d'acquérir d'autres atomes pour arriver à un état plus stable. L'un sera un édifice dont les arêtes lisses, dont les contours bien déssinés démontrent nettement l'achèvement; l'autre, au contraire, semble porter des pierres d'attente sur lesquelles des appendices, ou une autre construction peuvent s'appliquer; on conçoit donc qu'à côté de cet édifice s'en élève un second tout semblable, se fusionnant avec le premier à l'aide de ces pierres d'attente, et formant ainsi une seconde construction du même caractère que la première mais double en étendue. Ce sera un premier cas de polymérie, mais ce second édifice accolé au premier est incomplet comme lui; comme lui, il porte des pierres d'attente, sur lesquelles un troisième édifice pourra encore venir s'appuyer, et ainsi de suite, de sorte que la polymérie est en quelque sorte illimitée, et que la molécule d'abord très-simple, peut devenir de plus en plus complexe en se combinant à d'autres molécules identiques à elle-même.

Les conditions dans lesquelles se réalisent ces combinaisons complexes sont variées en apparence, mais elles se résument en définitive dans une élévation de température plus ou moins considérable, ce sont là au reste les conditions qui favorisent particulièrement la formation des pétroles à laquelle nous devons enfin arriver.

II

L'acétylène alcalin. — Sa formation sous l'influence de l'acide carbonique et des métaux. — Probabilité de l'existence des métaux alcalins libres dans le globe terrestre. — Formation de l'acétylène. — Sa condensation, sa combinaison avec l'hydrogène. — Origine des carbures d'hydrogène polymères du gaz des marais.

Parmi les combinaisons que forment l'hydrogène et le carbone, il en est une sur laquelle nous avons appelé déjà l'attention du lecteur par suite des circonstances curieuses dans lesquelles elle a été obtenu. Il paraissait peu probable que deux matières combustibles comme le carbone et l'hydrogène pussent entrer directement en combinaison, car on remarque plutôt des alliances entre des corps qui n'ont point l'un avec l'autre de ressemblance dans

l'ensemble des propriétés chimiques, et cependant en faisant passer un courant d'hydrogène dans un vase muni de deux cônes de charbon au travers desquels on fait jaillir le courant d'une très-forte pile, on obtient bientôt l'union du carbone et de l'hydrogène : on fabrique l'acétylène. Cette expérience mémorable est due à M. Berthelot qui depuis sa réalisation s'est à différentes reprises occupé des propriétés de l'acétylène. Tout récemment enfin il a constaté plusieurs faits inattendus; lorsqu'on chauffe de l'acétylène jusqu'au point de ramollissement du verre, on le voit diminuer peu à peu de volume; en même temps des produits liquides goudronneux apparaissent. En les étudiant avec détails, M. Berthelot n'a pas tardé à reconnaître parmi eux la benzine, cette matière liquide odorante qui, grâce à la propriété qu'elle possède de dissoudre les corps gras, est actuellement connue de tout le monde. Les chimistes formulent la benzine $C^{12}H^{6}$; elle peut donc être regardée comme formée par trois molécules d'acétylène combinées les unes avec les autres, on voit en effet que

$$\underbrace{(C^4H^2)}_{\text{acétylène}} + \underbrace{(C^4H^2)}_{\text{acétylène}} + \underbrace{(C^4H^2)}_{\text{acétylène}} = \underbrace{C^{12}H^6}_{\text{benzine ou triacétylène.}}$$

La synthèse de la benzine peut donc être effectuée par deux opérations distinctes. Il faut d'abord unir directement l'hydrogène et le charbon à l'aide d'une température convenable, puis combiner l'acétylène à lui-même pour obtenir la benzine. Comme ce liquide est enfin susceptible de donner naissance à un grand nombre de matières organiques assez complexes, celles-ci se sont rattachées par des synthèses régulières aux éléments eux-mêmes.

La benzine n'est point le seul carbure d'hydrogène qui puisse être ainsi obtenu directement : l'acétylène est susceptible de se combiner quatre fois à lui-même pour donner un carbure d'hydrogène déjà extrait du styrax et connu sous le nom de styrol; cette substance se formule $C^{16}H^{8}$, c'est donc un polymère de l'acétylène C^4H^2 formé par la seule influence de la chaleur sur l'acétylène.

Dans les conditions où s'opère la condensation de l'acétylène, il se forme en même temps une certaine quantité d'hydrogène et un peu de carbone libre. La présence de l'hydrogène offre un intérêt particulier. Si en effet on chauffe ensemble, comme l'a

fait M. Berthelot, l'acétylène C^4H^2 avec de l'hydrogène H^2, on peut obtenir le gaz oléfiant qui donne lui-même, quand on l'unit avec de l'hydrogène, un gaz qu'on formulera C^4H^6. Ces résultats n'ont rien qui doivent nous étonner, puisque l'acétylène est susceptible de polymérie, il doit être en quelque sorte incomplet et de même qu'il peut s'unir à lui-même pour former un polymère, il peut se combiner par addition à du brome, de l'hydrogène, etc. Cette dernière combinaison est particulièrement intéressante; en effet, les travaux importants entrepris sur les pétroles par MM. Pelouze et Cahours [1] ont démontré que ces liquides appartiennent à la même série que le gaz des marais C^2H^4 ou l'hydrure d'éthylène C^4H^6; ces derniers gaz peuvant être eux-mêmes dérivés de l'association de l'hydrogène avec le gaz oléfiant et ses polymères, comme il vient d'être dit, le gaz oléfiant étant obtenu d'ailleurs par l'union de l'hydrogène avec l'acétylène, on pourrait attribuer l'origine des pétroles à des combinaisons polymériques engendrées d'après le mécanisme dont nous venons de parler, si l'acétylène se forme au sein de la terre en même temps qu'une certaine quantité d'hydrogène.

Établissons d'abord nettement les conditions nécessaires pour que ces combinaisons carbonées puissent prendre naissance, et recherchons ensuite si ces conditions peuvent se rencontrer dans l'écorce terrestre.

Il faut, d'après les expériences précédentes, pour que les pétroles apparaissent : 1° que de l'acétylène se produise ; 2° que cet acétylène éprouve diverses condensations isomériques qui le conduisent jusqu'à la formation de la benzine, du styrolène et même jusqu'à celle des matières goudronneuses; 3° enfin, que l'hydrogène libre, réagissant sur ces carbures plus ou moins condensés, les transforme en carbures d'hydrogène de la forme $C^{2n}H^{2n+2}$, qui constituent les pétroles.

Dans quelles conditions se produit l'acétylène, nous l'avons vu par la combinaison directe du charbon et de l'hydrogène sous l'influence d'une température très-élevée, mais non supérieure à celle qui se rencontre certainement à une certaine profondeur dans la croûte terrestre. On pourrait donc comprendre que le

[1] Voyez *Annuaire scientifique*, 3e année, p. 393 : *les Pétroles d'Amerique*.

carbone et l'hydrogène pussent ainsi se combiner directement; toutefois la formation de l'acétylène est sans doute encore plus fréquente par d'autres réactions qui, bien que paraissant singulières au premier abord, sont cependant assez probables.

A la surface de la terre nous ne rencontrons guère que des matières au maximum d'oxydation, mais il n'en est plus ainsi à une certaine profondeur au-dessous de cette surface; il n'est pas rare de voir remonter, dans les sondages, des carottes argileuses qui changent de teinte aussitôt qu'elles arrivent au contact de l'air; elles nous montrent ainsi qu'elles ont séjourné dans des couches où l'action oxydante de l'atmosphère ne pénètre pas. M. Peligot a démontré, dans l'analyse qu'il a donnée de l'eau du puits de Grenelle, que cette eau ne renfermait pas d'oxygène en dissolution, et cependant cette eau est seulement à une température d'une quarantaine de degrés; elle n'a donc pas pénétré à une profondeur très-considérable. Les produits volcaniques actuels sont plus riches en métaux que les roches éruptives anciennes; enfin, les analogies curieuses que M. Daubrée a démontré exister entre les météorites et le globe terrestre font supposer que celui-ci est comparable en quelque sorte à une grosse loupe de fer entourée d'une scorie refroidie et humide, mais conservant à l'intérieur sa nature métallique; ainsi il est possible qu'il existe à des profondeurs considérables des métaux libres qui se rencontrent toujours à la surface à l'état oxydé; cela est non-seulement possible pour le fer, mais aussi pour les métaux alcalins eux-mêmes, et on sait que cette hypothèse n'est pas récente, puisqu'elle fut proposée par sir H. Davy lui-même peu de temps après qu'il eut mis au jour son admirable découverte.

Supposons donc qu'en un point de la masse centrale du globe il existe des quantités notables de métaux alcalins, que ceux-ci soient réduits en vapeur, ou que, maintenus à l'état liquide par l'énorme pression qu'ils supportent, ils se trouvent en contact avec de l'acide carbonique humide ou avec des carbonates terreux humides eux-mêmes, et les conditions nécessaires à la production des pétroles se trouvent réalisées.

M. Berthelot a reconnu, en effet, que les métaux alcalins agissant sur l'acide carbonique donnent naissance à des acétylures. Ces mêmes produits sont encore engendrés par la réaction du potassium ou du sodium sur les carbonates terreux. Or les acé-

tylures sont très-instables et il suffit du contact de l'eau pour qu'ils se détruisent en donnant de l'acétylène et des bases alcalines. L'acétylène chauffé donne, nous l'avons vu, avec une grande facilité, des produits de condensation; mais pour arriver jusqu'au pétrole il faut encore fournir aux produits $C^{2n} H^{2n} - {}^{2}$, polymères de l'acétylène, une certaine quantité d'hydrogène pour qu'ils passent à la forme $C^{2n} H^{2n} + {}^{2}$, à laquelle appartiennent les pétroles. Cet hydrogène se rencontrera encore fatalement parmi les produits des réactions précédentes, puisque nous savons que les métaux alcalins décomposent l'eau avec la plus grande facilité.

Les belles expériences de M. Berthelot démontrent donc nettement la possibilité d'expliquer l'origine des pétroles par les seules forces chimiques, sans qu'il soit nécessaire d'admettre une première condensation des matières carbonées obtenues sous l'influence de la végétation; la tendance qu'ont certains composés à s'unir à eux-mêmes pour former des matières plus condensées, l'intervention de la chaleur, de l'eau et des métaux alcalins suffisent pour rendre compte de la formation de ces composés curieux dont l'origine était restée inexpliquée jusqu'à ces derniers temps.

P. P. Dehérain.

II

UN NOUVEAU MÉTAL, L'INDIUM.

Lorsqu'il y a six ans nous commencions la rédaction de ce recueil et que nous placions en tête de notre premier volume le résumé des travaux de MM. Bunsen et Kirchhoff sur l'analyse spectrale, nous témoignions dans ce nouveau mode de recherches une confiance qui put paraître exagérée. Si nous jetons aujourd'hui un regard en arrière pour apprécier le chemin que la découverte des savants d'Heidelberg nous a fait parcourir, nous reconnaîtrons que notre enthousiasme était légitime. En laissant de côté, en effet, toutes les conséquences de cette découverte qui

[1] *Annuaire scientifique*, 1862, p. 1

ne touchent pas à la chimie, appréciées dans d'autres articles, nous reconnaissons qu'outre le cœsium et le rubidium obtenus dès 1859 comme une première consécration de l'analyse spectrale, le thallium a été trouvé un peu plus tard par la même méthode, et qu'enfin la découverte de l'indium dont nous voulons aujourd'hui entretenir le lecteur est encore dû à ce procédé d'investigation dont on ne saurait trop admirer la puissance et la délicatesse.

Deux chimistes allemands, MM. D. Reich et Ch. Richter, cherchaient le thallium dans quelques-uns des minerais traités à la belle usine de Freyberg, en Saxe, si justement célèbre dans les annales métallurgiques[1]. Les minerais renfermaient principalement de la pyrite de fer arsenicale, de la blende et de la galène ; après avoir été grillés, ils étaient traités par de l'acide chlorhydrique, et le chlorure de zinc évaporé à sec était examiné à l'aide d'un spectroscope. Les auteurs n'obtinrent pas la raie verte qui caractérise le thallium, mais bien une raie *indigo* non encore observée; elle était due à un nouveau métal qui bientôt isolé en petite quantité manifesta la raie bleue avec tant d'éclat et de persistance que le doute ne fut plus permis. Le nouveau venu reçut le nom d'*indium*.

Opérant ensuite sur 100 kilogrammes de minerai, MM. Reich et Richter purent obtenir une petite quantité d'oxyde qui se réduit facilement par un courant d'hydrogène et peut être ainsi réuni en un globule métallique ; une petite portion du métal est entraînée à l'état de vapeur et communique à la flamme de l'hydrogène une belle coloration bleue.

[1] Les traités de chimie continuent à décrire avec persévérance le procédé dit d'amalgation pour le traitement des minerais argentifères de Freyberg, ainsi que son nom l'indique ; ce procédé utilisait le mercure. Quand nous avons visité Freyberg, en 1858, ce procédé était déjà abandonné et remplacé par une méthode dans laquelle on ne faisait pas usage du mercure. Les sulfures métalliques, d'abord amenés à l'état de sulfates par le grillage, étaient transformés en chlorures par l'action du sel marin agissant au rouge ; les chlorures métalliques étaient repris par une dissolution chaude de sel marin et amenés dans une première série de tonneaux où se trouvaient des rognures de cuivre ; celui-ci réduisait le chlorure d'argent et donnait une éponge d'argent facile à laver et à fondre ; la liqueur amenée dans une seconde série de tonneaux abandonnait le cuivre provenant du minerai et de la réduction de l'argent sur des lames de fer, et était enfin rejetée lorsqu'elle ne renfermait plus que du chlorure de fer.

L'indium est d'un blanc d'argent; il conserve son éclat métallique dans l'air et dans l'eau bouillante; il est très-mou et très-ductile; sa densité est égale à 7,11 et 7,27; il fond à la même température que le plomb. L'indium ne paraît donner qu'un seul oxyde et un seul chlorure qui est volatil et cristallin; on l'obtient facilement en traitant l'oxyde par le charbon et un courant de chlore. Ce métal paraît appartenir au groupe du magnésium, du zinc et du cadmium; son sulfure est coloré comme celui de ce dernier métal, mais sa teinte est plus foncée et tire davantage sur le rouge. L'équivalent de l'indium paraît être de 36, c'est-à-dire être le triple de celui du magnésium[1].

P. P. Dehérain.

III

BIBLIOGRAPHIE

Traité de chimie générale, analytique et agricole, par MM. J. Pelouze et E. Fremy. — Leçons élémentaires de chimie moderne, par A. Wurtz, doyen de la Faculté de médecine de Paris.

Il est rare de rencontrer deux ouvrages traitant du même sujet et aussi complétement différents que ceux dont les titres figurent en tête de cette notice. Tandis que le livre de MM. Pelouze et Frémy, formé de sept volumes compacts, s'efforce d'englober tout ce qu'a produit la science; que rien ne doit lui échapper; que toutes les opinions y doivent trouver un écho, toutes les théories un accueil, tous les travaux une description plus ou moins longue; qu'on voit que son unique prétention est de présenter au lecteur, sur chacune des questions qui touchent à la chimie, les renseignements les plus complets, et que, atteignant ce but, c'est aujourd'hui un livre qui a sa place marquée dans tous les laboratoires et toutes les usines, l'ouvrage de M. Wurtz a de toutes autres visées, ce n'est plus un recueil de faits et de théories, c'est l'exposé d'une doctrine nouvelle. L'auteur s'appuie sur des faits, sans contredit; mais, s'il les cite, s'il les examine, c'est seulement

[1] Voyez, pour plus de détails, le *Bulletin de la Société chimique*, 1re série, t. V, p. 604; — 2e série, t. II, p. 442; t. III, p. 282; t. IV, p. 194; t. VI, p. 110.

comme soutien des théories dont l'exposé l'intéresse davantage, et dont le triomphe est son vœu le plus cher.

On a toujours rencontré dans les sciences d'observation deux tendances différentes, en quelque sorte opposées : tandis que quelques esprits sceptiques aux théories, peu soucieux des systèmes, persuadés que les faits seuls ont une valeur certaine, et que les interprétations, variant sans cesse, n'ont qu'une intérêt transitoire, donnent tous leurs soins à la découverte des faits nouveaux ; les autres, plus confiants dans la puissance de la raison humaine, veulent chercher au-dessus des faits la loi qui les régit. Ils ne s'acharnent plus au laboratoire simplement pour mettre au jour des êtres nouveaux plus ou moins curieux, mais pour en faire sortir des preuves matérielles de la justesse de l'idée qui les a guidés.

Ces esprits souvent aventureux abordent les sujets les plus ardus, y introduisent des aperçus nouveaux, éveillent de son repos la science officielle, toujours lente dans ses évolutions, et meurent parfois à la peine, après avoir agité plus de questions qu'ils n'ont déterminé de changements réels dans l'enseignement de la science. A coup sûr, tous les efforts que firent Laurent et Gerhardt pour modifier l'enseignement usuel ne furent pas efficaces, et cependant, si personne n'admet les étrangetés qui se mêlent aux aperçus ingénieux dans la *Méthode de chimie*, si l'hypothèse à l'aide de laquelle Gerhardt a le premier classé les matières organiques dans le grand *Traité de chimie* qu'il a terminé bien peu de temps avant sa mort, paraît déjà surannée, on ne saurait nier que le grand mouvement que produisit dans la science la polémique passionnée de ces deux puissants esprits n'ait eu une influence marquée sur ses progrès, et n'ait exercé une action salutaire sur sa direction.

M. Wurtz[1], aujourd'hui, reprend avec beaucoup plus de chances de succès cette œuvre délicate. Il met habilement à profit le désir souvent manifesté par nombre de chimistes d'introduire dans l'enseignement quelques changements importants, pour s'efforcer de faire pénétrer sa manière de voir ; il ne s'embarrasse plus de discuter, ce n'est plus une œuvre de polémique qu'il entreprend, mais, au contraire, un travail dogmatique, dans lequel les faits et les théories sont clairement présentés sans qu'il croie opportun de revenir sur les anciens systèmes.

[1] Voyez dans l'*Annuaire* de 1866 l'article : *Grand prix biennal*.

M. Wurtz est partisan de la théorie atomique qui, abandonnée pendant de longues années, semble refleurir aujourd'hui. L'hypothèse sur laquelle elle s'appuie n'a rien qui répugne à l'esprit. Quand on réfléchit que les gaz se combinent suivant des rapports simples en volumes, que soumis à l'action de la chaleur ou de la pression, ils se dilatent ou se contractent régulièrement et tous de la même façon, on peut supposer que des volumes égaux de gaz simples renferment des nombres égaux d'atomes. Pour trouver le poids de ceux-ci on peut prendre comme terme de comparaison le poids d'un volume d'hydrogène et rapporter à ce poids celui d'un volume des autres gaz, en d'autres termes, rapporter les densités à l'hydrogène, au lieu de prendre comme terme de comparaison l'air, ainsi qu'on le fait habituellement ; on trouve ainsi, pour ces densités, des nombres qui se confondent la plupart du temps avec les nombres suivant lesquels les corps se combinent les uns avec les autres, nombres qu'on désigne dès lors sous le nom de poids atomiques et qui représentent le poids des atomes.

Pour M. Wurtz, le mot molécule n'est pas synonyme du mot atome; il représente une agrégation d'atomes. Ainsi un atome d'oxygène ou 16 (poids de un volume, en prenant pour unité le poids de un volume d'hydrogène ou 1), un *atome* d'oxygène, disons-nous, s'unit à deux *atomes* d'hydrogène pour donner une *molécule* d'eau, qui devient H^2O ou encore $\left.\begin{matrix}H\\H\end{matrix}\right\}O$. Cette molécule est, au reste, une sorte de type sur lequel on peut mouler un grand nombre de corps analogues; ainsi, quand on fait agir du potassium ou du sodium sur de l'eau, on obtient de l'hydrate de potasse ou de soude, il y a remplacement d'hydrogène par du potassium et du sodium, mais le type est conservé; on aura ainsi $\left.\begin{matrix}K\\H\end{matrix}\right\}O$. Si on faisait agir dans des circonstances convenables le chlore sur l'eau, on pourrait obtenir $\left.\begin{matrix}H\\Cl\end{matrix}\right\}O$, l'acide hypochloreux, et encore $\left.\begin{matrix}Cl\\Cl\end{matrix}\right\}O$, ou anhydride hypochloreux. On sait que les chimistes de l'école de M. Wurtz n'hésitent pas à rapporter au type eau les substances les plus variées ; si on peut être frappé des avantages que cette idée présente, si c'est une manière de voir utile dans un mémoire qui s'adresse à des esprits déjà faits, il n'est

peut être pas sans danger de donner aux élèves, comme un fait acquis, que des substances aussi complétement différentes que la potasse et l'acide hypochloreux sont cependant jetées dans le même moule et appartiennent au même type.

On sait que ce qui caractérise les acides dans les idées unitaires, c'est l'hydrogène, susceptible d'être remplacé par des métaux; les acides non combinés à l'eau sont désignés sous le nom d'anhydrides. Sans insister sur la difficulté qu'il y aura, en appliquant une semblable définition, de faire comprendre à un élève pourquoi l'ammoniaque, qui renferme beaucoup d'hydrogène susceptible d'être remplacé par des métaux, n'est pas un acide, je remarque combien la transformation d'un acide anhydre en un acide hydraté peut devenir compliqué. D'après les équivalents employés, l'acide azotique anhydre s'écrit Az^2O^5; or, quand on place cette matière avec l'eau, on obtient :

$$\underbrace{Az^2O^5 + H^2O}_{\text{Anhydride azotique.}} = \underbrace{2(HAzO^3)}_{\text{Acide azotique ordinaire.}}$$

Il y a certainement de l'inconvénient à représenter, par des formules aussi différentes que Az^2O^5 et $HAzO^3$, deux substances qui en réalité dérivent très-simplement l'une de l'autre.

A la fin du fascicule qui seul a paru jusqu'à présent, M. Wurtz résume la classification des métalloïdes et introduit la notion d'atomicité; on sait que l'école du savant doyen de la faculté de médecine professe que tous les corps ne sont pas susceptibles de se combiner avec un même nombre d'atomes; pour elle les atomes du chlore sont monoatomiques, ceux de l'oxygène sont diatomiques, ceux de l'azote sont triatomiques et ceux du carbone tétratomiques; en s'appuyant sur les combinaisons que donne chacun de ces corps avec l'hydrogène, en insistant sur la formule de l'acide chlorhydrique HCl, sur celle de l'eau H^2O, sur celle du gaz ammoniac H^3Az, ou du gaz des marais H^4C, ont peut croire à l'exactitude de cette manière de voir; mais, lorsque j'ai acquis cette notion, je suis bientôt obligé de reconnaître que chacune de ces matières n'est pas invariablement mono, bi, tri ou quatriatomique. En effet, si je tourne la page, je vois que le gaz ammoniac s'unit avec de l'acide chlorhydrique, et que, dans ce cas-là, l'azote est pentatomique; je vois que le phosphore, que je croyais

triatomique comme l'azote, est encore pentatomique dans sa combinaison avec le chlore, ou avec l'hydrogène et l'iode, ou l'hydrogène et le brome. Si je devais présenter ces faits à des élèves commençant l'étude de la chimie, je pourrais certainement expliquer un grand nombre de combinaisons avec facilité, et faire usage avec plaisir des petites boules ingénieusement employées par M. Hoffmann[1]; mais je serais, je l'avoue, fort embarrassé quand il s'agirait de décrire le protoxyde d'azote, formulé par M. Wurtz Az^2O, dans lequel j'aurais un seul atome d'oxygène pour saturer deux atomes d'azote, qui chacun réclament trois atomes pour arriver à un état stable.

Est-ce à dire que les *Leçons élémentaires de chimie moderne* soient un livre inutile? Rien n'est plus loin de notre pensée ; c'est, au contraire, un ouvrage largement conçu, dans lequel les idées nouvelles, clairement exprimées, apparaissent souvent avec une rigueur séduisante. Nous croyons qu'une personne déjà versée dans l'étude de la chimie lira les *Leçons de chimie moderne* avec plaisir et profit. Le chimiste ne pourra jamais, au reste, se distraire, en examinant ces théories, que quelques-uns repoussent encore, des nombreuses victoires qu'elles ont remportées. Quand un militaire vous trace un plan de campagne sortant des règles ordinaires de la tactique, on peut se récrier, si ce plan est toujours resté sur le papier; mais si, appliqué, il a conduit à la victoire, il acquiert tout à coup un suprême intérêt. Qu'on se rappelle que les doctrines aujourd'hui présentées sous une forme simple et élémentaire par M. Wurtz le guident depuis des années, et l'ont mené à la découverte des ammoniaques composées et des glycols, et l'on reconnaîtra qu'elles ont au moins cette suprême qualité d'être fécondes.

P. P. Dehérain.

[1] Dans une leçon faite à l'Institution royale de Londres, ce savant chimiste a parlé de la force de combinaison des atomes. Pour rendre sensible au public cette puissance de combinaison il a imaginé de représenter les atomes monatomiques par des boules armées d'un seul bras, les atomes biatomiques par des boules à deux bras, à trois et à quatre pour les atomes tri et quatriatomiques. Il montre ainsi très-bien que l'oxygène n'est saturé qu'autant qu'à ces deux bras sont venus se fixer deux boules d'hydrogène, et que l'azote n'est dans un état d'équilibre stable qu'autant qu'il porte trois boules d'hydrogène à chacun de ses bras, etc. Voyez la traduction de cette leçon par M. l'abbé Moigno; Giraud, édit.

MÉTÉOROLOGIE

LA LOI DES TEMPÊTES

I

Rotation du vent dans les ouragans. — Découverte de la loi des tempêtes. — Travaux de MM. Capper, Redfield, Reid, Piddington, Espy, Dove, Keller, Andrau et Marié Davy.

Entreprise par les grands navigateurs du seizième siècle avec un héroïsme rarement égalé, la conquête de l'Océan devait s'achever par la science, qui, suivant la belle expression de Descartes, tend aujourd'hui à rendre l'homme « maître et possesseur de la Nature. »

Cette domination est dans un évident rapport avec la connaissance des lois qui régissent les phénomènes météorologiques, et qui, chaque jour mieux connues, permettent de prévoir avec plus de certitude les divers changements d'où dépendent en partie notre bien-être et notre sécurité.

Nous avons déjà décrit dans les précédents *Annuaires*[1] les applications de la télégraphie électrique à la prévision du temps. Nous venons aujourd'hui donner quelques indications plus spéciales sur la formation et la prévision des tempêtes, en nous attachant principalement aux plus désastreux de ces météores, les *cyclones* ou tempêtes tournantes. Les relations des anciens navigateurs font souvent mention de la rotation du vent pendant les ouragans. Le colonel Capper fut le premier à prouver que les ouragans de l'océan Indien sont de véritables tourbillons, dont le diamètre varie et dont le centre se déplace suivant certaines directions[2].

[1] Années 1862, 1863 et 1866.

[2] *Observations on Winds and Monsoons.* — London, 1801, p. 57.

Après lui, Romme, dans ses *Tableaux des vents, des marées et des courants*[1], dit aussi en parlant des violentes tempêtes du canal de Mozambique, que pendant la mousson du Nord-Est « les vents se meuvent en tourbillons, avec grosse mer, ciel sombre et forte pluie. « Le même auteur décrit la rotation des vents dans les ouragans du golfe du Mexique.

Mais le mouvement giratoire et progressif des ouragans ne fut vraiment découvert qu'en 1821, par un savant américain, M. William Redfield, de New-York, qui dans le cours de ses recherches professionnelles comme constructeur naval, avait porté son attention sur ce sujet. En 1831, dix ans après sa découverte, M. Redfield publia dans le *Journal des sciences américain*[2] un article important, qui démontrait que les tempêtes de la côte nord des États-Unis étaient des tourbillons *progressifs*, longeant la côte à partir des Antilles et se courbant vers l'Est entre les Bermudes et les bancs de Terre-Neuve. M. Redfield ajoutait à sa théorie d'excellentes règles pratiques pour diriger les navires de manière à diminuer les chances d'avaries provenant des tempêtes tournantes.

En 1838, le colonel anglais sir William Reid, du corps des ingénieurs royaux, publia son remarquable ouvrage sur *la loi des tempêtes* (*On the Law of Storms*), dans lequel, s'appuyant sur les recherches antérieures et sur ses propres observations, il confirmait pleinement les idées de M. Redfield, et prouvait de plus que dans l'hémisphère sud les tempêtes tournent dans un sens contraire à celui de l'hémisphère nord. Le colonel Reid montrait que de la théorie on pouvait déduire des règles sûres pour fuir un ouragan, pour éviter de le traverser, et même pour en profiter dans certains circonstances favorables. Dès lors la théorie devenait une loi pratique, la Loi des tempêtes ; on reconnut bientôt sa justesse dans les diverses parties du monde, et sa connaissance est aujourd'hui utilisée par toutes les nations maritimes. Elle rend aussi déjà d'importants services aux nations continentales, en aidant à prévoir le passage des ouragans et à prévenir, en temps utile, les agriculteurs de leur approche.

Le colonel Reid avait ainsi énoncé sa découverte : le mouvement

[1] Paris, 1806, t. I, pages 45, 132, 149.
[2] *Amer. Journ. of Science and Arts*, vol. xx, p. 171.

rotatoire, au nord de l'équateur, est toujours dirigé de l'est vers l'ouest en passant par le nord, ou en sens contraire de la marche apparente du soleil; dans l'hémisphère austral, la direction du mouvement est opposée. En d'autres termes, la rotation suit le mouvement des aiguilles d'une montre au sud de l'équateur; elle est en sens inverse au nord.

En continuant ses recherches, le colonel Reid découvrit une seconde loi, celle qui régit la translation des ouragans. Leur course, c'est-à-dire la ligne suivie par leur centre, trace une parabole, se dirigeant de l'équateur vers les régions tempérées. Cette courbe a constamment son sommet situé à l'ouest, elle est tangeante au méridien vers la latitude de 30° dans l'hémisphère boréal, et vers celle de 26° dans l'hémisphère austral, latitudes qui marquent les limites des ventes alizés.

Après les travaux de MM. Redfield et Reid, nous devons citer en première ligne ceux de M. H. Piddington, président de la cour maritime à Calcutta, qui après avoir écrit de nombreux mémoires sur les ouragans de l'océan Indien, a publié une *Exposition pratique de la loi des tempêtes*[1], dans laquelle il a rassemblé et discuté tous les documents recueillis jusqu'à lui sur les tempêtes tournantes, auxquelles il a, le premier, donné le nom de *cyclones*. M. Piddington a consacré plus de vingt années de sa vie à étudier dans les journaux de bord et dans les ouvrages spéciaux les phénomènes qui accompagnent ces tourbillons. Ses connaissances variées et son expérience d'homme de mer donnent une grande valeur à son ouvrage, véritable *guide* où le marin trouve à la fois les pronostics des ouragans dans les deux hémisphères, et les règles simples dont l'application peut lui faire éviter leur rencontre.

Les travaux que nous avons cités jusqu'ici ont un caractère pratique qui les rend essentiellement utiles aux navigateurs. Pour compléter nos indications, nous devons encore mentionner les savantes recherches de Dampier, Halley, Franklin, Horsburgh, Espy, Maury, Fitz-Roy, Dove, Quételet, Andrau, Keller, Marié Davy, etc., sur les mouvements de l'atmosphère. Les limites qui nous sont tracées ne permettant pas une analyse, même succincte,

[1] *The Sailor's Horn-Book for the law of Storms.* — London, 1851. Cet ouvrage a été traduit en français par M. J. Chardonneau, lieutenant de vaisseau. — Paris, 1859.

des théories émises par ces divers auteurs, nous devons nous borner à signaler celles qui ne sont pas entièrement d'accord ou qui complètent la théorie émise par M. Redfield et soutenue par Reid et Piddington. Cette théorie explique les phénomènes des ouragans, en supposant de grands tourbillons tournant dans un sens constant autour de leur axe, et suivant dans leur course une direction qui varie, comme le sens de la rotation, dans chaque hémisphère.

M. Espy, de Philadelphie, a publié un volume intitulé *Philosophie des tempêtes*[1], dans lequel il donne pour cause aux cyclones l'échauffement partiel de l'air à la surface du globe, et la formation d'une colonne ascendante placée au centre du tourbillon comme une immense cheminée, vers laquelle les vents affluent suivant un direction rectiligne. M. Espy explique par cette cause la formation des nuages, la hausse et la baisse du baromètre, etc. Il admet d'ailleurs avec MM. Redfield et Reid le mouvement progressif des cyclones. Quoique cette théorie nous paraisse contredite par les phénomènes observés dans la plupart des ouragans, nous devons reproduire un fait qui semblerait prouver que le mouvement rotatoire ne peut être appliqué à toutes les tempêtes. Suivant un éminent météorologiste, M. Andres Poey, les recherches faites en Amérique après la grande tornade de 1852, auraient montré que les vents y suivaient une direction conforme à la théorie du professeur Espy.

L'important ouvrage du savant M. Dove, de Berlin, intitulé : *la Loi des tempêtes considérée dans ses rapports avec les mouvements ordinaires de l'atmosphère*, a récemment été traduit en français par M. A. Le Gras, capitaine de frégate[2]. Après une longue recherche des lois qui régissent nos tempêtes d'Europe, M. Dove attribue leur formation aux deux grands courants opposés qui nous donnent les vents équatoriaux et les vents polaires. Le passage de l'un à l'autre de ces vents, dont les propriétés physiques sont si différentes, est la cause des perturbations qui se produisent suivant des lois déterminées. Dove entend par *rotation directe* des vents le système de déplacement des deux courants qui résulte des conditions ordinaires de leur transformation dans

[1] *Philosophy of Storms.* — Boston, 1841.
[2] *Annales hydrographiques*, n° 377.

notre hémisphère. Cette rotation se produit du sud-est au nord-ouest en passant par le sud. La *rotation inverse*, du nord-ouest au sud-est, produite par un système de déplacement différent, est peu fréquente dans notre hémisphère. Des phénomènes contraires se produisent naturellement dans l'hémisphère opposé, où les effets sont renversés.

M. Keller, ingénieur hydrographe de la marine française, a donné, dans ses remarquables *Recherches sur le régime des courants, des vents et des tempêtes dans l'océan Atlantique septentrional*[1], de très-intéressants détails sur les perturbations produites dans les circulations atmosphériques par les différences anormales de température. Suivant cet auteur, quand la température anormale est basse, elle détermine un coup de vent accompagné d'oscillations produites par l'élasticité d'ondes atmosphériques entraînées par la circulation. Quand la température anormale est élevée, elle détermine un tourbillon ou tempête tournante. Ces tempêtes se manifestent ordinairement en été, et sont plus fréquentes dans la zone tropicale que dans la zone polaire. Ainsi, par exemple, les ouragans de l'Atlantique nord et de l'océan Indien prennent naissance à la rencontre des moussons opposées dirigées vers le maximum thermal. Les vents variables qu'on observe en ce point résultent du mouvement giratoire inverse imprimé par les courants nord et sud, aspirés par le mouvement ascendant de l'air. Le lieu de cette ascension se déplace avec la déclinaison du soleil. Quand le déplacement s'opère sans entraves, le mouvement giratoire qui se produit dans la région des calmes. est représenté par des vents variables de faible intensité. Mais si, par suite de l'inégale distribution des terres et des mers, le mouvement continu du maximum thermal est transformé en un mouvement retardé ou accéléré, en d'autres termes, si le point d'appel des moussons opposées persiste dans une certaine position au delà du temps assigné par le déplacement du soleil, plus cette persistance sera longue, plus le changement de position sera brusque, quand les forces régulières l'emporteront sur les forces perturbatrices. La détente des forces régulières n'ayant pu alors s'opérer progressivement par le mouvement giratoire de faible intensité des vents variables, cette détente s'opérera brusquement,

[1] Dalmont et Dunod, éditeurs; Paris, 1859.

la masse d'air retardée se précipitera avec impétuosité vers son nouveau point d'appel, et le couple résultant de la déviation des moussons opposées fera tourbillonner avec force la masse d'air intermédiaire.

Au nord de l'équateur, les couches atmosphériques seront ainsi mises en mouvement par un couple de deux forces, dont l'une au sud, est dirigée vers le nord-est ; l'autre, au nord, vers le sud-ouest. Le mouvement de rotation aura donc lieu de droite à gauche ; ce sera l'inverse dans l'hémisphère sud.

Quant au mouvement de translation, M. Keller l'attribue aux courants généraux qui entraînent le tourbillon. La vitesse de ce mouvement n'est pas constante, la formation de la tempête amenant un retard local variable dans la circulation, qui doit être ensuite compensé par une accélération.

Dans les régions tropicales, de nombreuses observations ont fréquemment permis de constater le circuit complet des ouragans. Mais au delà de ces régions, il est presque toujours difficile de le reconnaître. Suivant M. Andrau, officier de la marine royale hollandaise, on n'observerait plus alors, dans la plupart des cas, que la partie du tourbillon qui regarde l'équateur, et cette partie diminuerait de plus en plus, à mesure que le tourbillon s'avance vers le pôle. Voici l'explication ingénieuse que M. Andrau donne de ce fait, dans ses intéressantes études sur les cyclones de l'Atlantique nord[1] : — Représentons-nous le tourbillon comme un disque tournant rapidement sur lui-même, en même temps qu'il obéit à un mouvement de translation. Partant du principe de la conservation du parallélisme des axes de rotation, M. Andrau suppose que l'axe du tourbillon doit rester parallèle à lui-même dans ses positions successives. Or, au point d'origine, on peut admettre que cet axe est vertical. Mais il penche de plus en plus vers l'équateur, à mesure que le cyclone s'avance vers le pôle, et le disque tournant tend ainsi à s'éloigner de la surface terrestre dans sa partie polaire, tandis qu'il s'en approche dans sa partie équatoriale, qui, au bout d'un certain temps affleure seule le sol. On n'observe alors la tempête que dans cette dernière partie, le reste du phénomène se passant dans les régions supérieures de l'atmosphère. M. Andrau admet d'ailleurs que des ouragans à circuit complet, formés

[1] *De wet der Stormen.* — Utrecht, 1862.

dans les hautes latitudes, pénètrent quelquefois dans nos régions, mais il croit que nos violentes tempêtes proviennent en général de cyclones dont nous ne ressentons qu'une partie.

Dans un excellent ouvrage[1], où sont résumés avec beaucoup de science, d'ordre et de clarté les récents progrès de la météorologie pratique, M. Marié Davy, tout en acceptant l'explication de M. Andrau pour certains cas particuliers, montre que dans les circonstances ordinaires cette théorie soulève de graves objections, et il donne une explication beaucoup plus simple, tirée de la superposition des deux mouvements de rotation et de translation. Si on mène par le centre du tourbillon un diamètre parallèle à sa ligne de parcours, on voit que d'un côté les deux vitesses s'ajoutent, tandis que de l'autre elles sont en sens contraire et se retranchent. Dans le voisinage de l'équateur, où le mouvement de translation est faible, la différence des vitesses ne sera pas très-grande, et la vitesse de rotation, extrêmement rapide, sera toujours suffisante pour frapper l'attention. Mais à mesure que le cyclone progresse vers le nord, sa vitesse de translation s'accroît en même temps que la vitesse de rotation diminue, et il arrive un moment où ces vitesses, devenues égales, s'annulent.

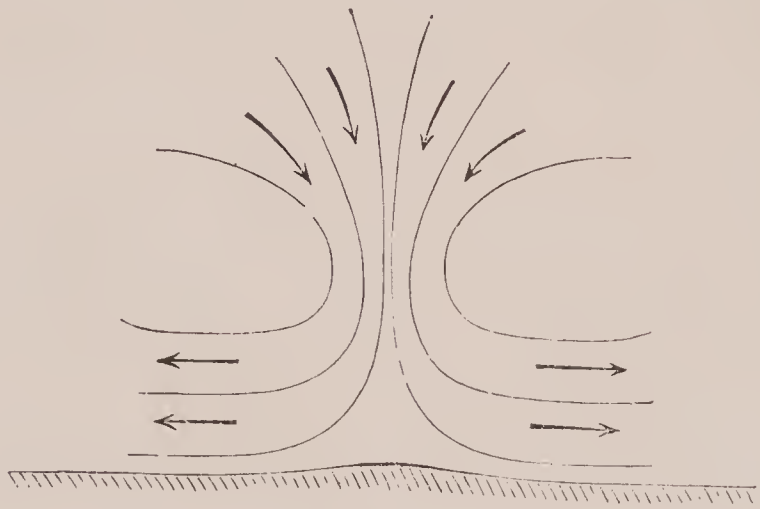
La théorie des cyclones, telle qu'elle est présentée par M. Marié Davy, nous paraît donner l'explication jusqu'ici la plus complète et la plus satisfaisante de ces météores, dont l'étude encore récente est entourée de nombreuses difficultés, et qui ne seront entièrement connus que par le rapprochement des observations faites aujourd'hui par les marins et les savants sur tous les points du globe.

M. Marié Davy rappelle d'abord les applications de la force centrifuge qui nous ont familiarisés avec les applications de cette force, et entre autres le mouvement de rotation imprimé à l'eau d'un vase vertical, mouvement à la suite duquel on voit la surface du liquide se creuser au centre et se relever sur les bords. La force centrale qui maintient le tourbillon ainsi produit naît de la

[1] *Les Mouvements de l'atmosphère et des mers*, considérés au point de vue de la prévision du temps, par H. Marié Davy, astronome, chef de la division de météorologie à l'Observatoire impérial, avec 24 cartes tirées en couleur et de nombreuses figures dans le texte — Victor Masson, éditeur, Paris, 1866.

pesanteur et de la tendance de l'eau à glisser sur le plan incliné formé à sa surface.

M. Marié Davy, envisageant la rotation des cyclones en elle-même, et non dans les causes qui la produisent, compare ces tourbillons à des ventilateurs d'une immense étendue, et trouve l'explication d'une partie des phénomènes météorologiques qu'ils présentent dans les propriétés des mouvements tournants. Ainsi, par exemple, l'air se trouvant refoulé du centre à la circonférence par l'effet de la rotation, une forte aspiration se produit dans le sens de l'axe, et y appelle l'air des régions atmosphériques situées au-dessus du disque, ou au-dessous s'il en existe, ainsi qu'on peut le voir dans la figure ci-contre, représentant la coupe théorique d'un tourbillon. Cette aspiration produit à la sur-



face des mers comme une marée locale qui suit l'ouragan dans sa course, détermine un fort courant dans le sens du mouvement de translation, et inonde subitement les côtes basses, quand le tourbillon passe de la mer sur la terre.

Les courants qui affluent de toutes parts vers le centre du tourbillon, y forment des nuages plus ou moins épais, et souvent des pluies torrentielles. Parmi ces courants, ceux qui amènent l'air des hautes régions, plus chargé d'électricité, produisent les violents orages, qui accompagnent presque toujours les ouragans.

Nous avons déjà parlé du mouvement giratoire, imprimé au tourbillon par les courants nord et sud. Pour que ce mouve-

ment persiste pendant plusieurs jours, ainsi qu'on l'a souvent constaté, il faut que les masses d'air attirées des régions opposées se renouvellent sans cesse, comme nous venons de le voir, et apportent les éléments nouveaux nécessaires à la durée du tourbillonnement. Le résultat est alors le même que si le disque en mouvement fonctionnait comme un corps solide.

Il nous serait impossible, dans ce court résumé, d'examiner avec M. Marié Davy l'ensemble des causes qui engendrent les ouragans et qui favorisent leur maintien. Il nous suffit d'avoir indiqué les principales pour mettre nos lecteurs à même de bien comprendre les applications pratiques de la loi des tempêtes dont nous allons maintenant nous occuper.

II

Signes précurseurs des cyclones. — Diamètre de ces météores. — Vitesses de rotation et de translation. — Applications de la loi des tempêtes. — *Guide* de Piddington. — Instructions de MM. Keller, Ducom et Bridet.

Des signes météorologiques annoncent longtemps à l'avance l'approche des cyclones. Le baromètre, dont la marche diurne est ordinairement si régulière dans la zone intertropicale, éprouve des oscillations déjà sensibles, quand ces formidables tempêtes sont encore éloignées de 8 à 900 milles. Les oscillations du mercure paraissent produites par le passage d'ondes aériennes alternativement condensées et dilatées. Sous l'effort de l'ouragan une immense partie de l'atmosphère est entrée en vibration. Bientôt aussi une longue houle se lève et vient se briser sur les côtes.

Durant cinq ou six jours de nombreux cirrus se forment dans le ciel encore clair. Ces nuages légers et très-élevés, qu'on croit composés de fines aiguilles de glace, se dissolvent bientôt en une couche blanchâtre, laiteuse, dans laquelle on voit fréquemment des halos. Des lourdes nuées lui succèdent, en même temps qu'une panne sombre se montre à l'horizon.

L'aspect du ciel est menaçant. Au lever et au coucher du soleil une brouillard rouge qui teint à la fois la mer et le ciel, s'étend sur tous les objets, et leur donne une couleur sanglante. Ce phénomène, assez rarement il est vrai, dure pendant la nuit, aux clartés de la lune, et la mer se couvre en même temps de lueurs phosphorescentes.

Le banc de nuages noirs aperçu à l'horizon se couronne souvent d'une immense flamme électrique. Dans la mer de Java, suivant Piddington, des éclairs multipliés *s'en écoulent*, semblables à une cascade lumineuse. Quelquefois des rayons s'élèvent simultanément au-dessus d'une frange pourprée, comme dans les aurores boréales.

A partir de l'instant où tombent les premières rafales, la violence de la tempête s'accroît jusqu'au voisinage du centre. Une épaisse voûte de nuages a couvert le ciel. De l'abîme ténébreux, la pluie, souvent la grêle, se précipitent comme des torrents et se mêlent à l'écume que le vent arrache aux vagues.

Au commencement des cyclones, un bruit sourd, étrange, qui vient du large et qui annonce la tempête, est connu sous le nom d'*appel de la mer*. Les rafales qui déchirent l'air pendant l'ouragan font entendre un effroyable tumulte, que les relations comparent au *rugissement de bêtes sauvages*. Sur le passage du centre, un bruit formidable, un continuel grondement de tonnerre, la voix même de l'ouragan, éclate et domine tout. Près de ce centre, où le plus grand vide se produit, le vent décrit, en s'élevant, une spirale immense. Sa furie redouble. « ... Qui peut essayer de dépeindre l'aspect du pont ? Si je devais le faire, je ne pourrais jamais vous en donner une idée : une obscurité absolue autour de nous, » disait le colonel Reid ; « la mer en feu, élevant des vagues monstrueuses, qui s'entre-choquent violemment, le vent soufflant avec une inconcevable furie et un bruit de tonnerre ; le tout rendu plus terrible encore, s'il est possible, par une pâle lumière bleue vraiment extraordinaire. »

Cette lumière a été souvent observée. Une relation officielle du formidable ouragan qui dévasta la Guadeloupe, le 25 juillet 1825, contient le passage suivant : « Le vent, au moment de sa plus grande intensité, paraissait lumineux ; une flamme argentée jaillissant par les joints des murs, les trous des serrures et autres issues, faisait croire, dans l'obscurité des maisons, que le ciel était en feu. »

Très-souvent, au centre même, une accalmie complète succède aux plus terribles rafales. Le mouvement ascendant des colonnes d'air peut, en effet, laisser dans le calme un espace autour duquel le cyclone tourne comme un immense anneau. Le ciel s'éclaircit parfois dans cette région, et un cercle pâle, l'*œil de la tempête*,

apparaît au milieu des nuages, indiquant le passage du centre. Mais ce calme dangereux, qui laisse le navire immobile sous le choc de vagues monstrueuses, fait bientôt place à de nouvelles rafales, et le vent reprend toute sa violence.

Le diamètre initial de ces prodigieux météores varie de 100 à 400 kilomètres, et il augmente progressivement à mesure que le tourbillon s'éloigne de l'équateur. La vitesse de rotation, qui est à son maximum à une distance moyenne du centre, peut atteindre 150 ou 200 kilomètres à l'heure. La vitesse de translation, d'après M. Keller, n'est jamais inférieure à 15 kilomètres à l'heure dans les plus faibles ouragans; dans les plus violents, elle ne dépasse pas 45 kilomètres.

De nombreuses observations tendent à prouver que les disques de tempête, dont la hauteur paraît ne pas aller au delà de 10 à 12 kilomètres, sont presque toujours inclinés en avant. Tandis que le front de l'ouragan laboure la mer ou le sol, la partie arrière se relève et montre des traînées de nuages qu'on voit tourbillonner d'une manière extraordinaire. De fortes décharges électriques se produisent en même temps et annoncent la fin du cyclone.

« Si les vents sont déchaînés dans une tempête, » dit un vieux marin, Thomas Fuller, « ils sont fous furieux dans les ouragans. » On voit en effet que la vitesse du vent, dans la partie du disque où le mouvement de rotation et de translation s'ajoutent, est, en moyenne, de 200 kilomètres à l'heure, et peut aller jusqu'à 250. Aussi les marins ont-ils justement nommé ce côté du tourbillon, où les navires courent les plus grands périls, *demi-cercle dangereux*. Sur le côté opposé, appelé *demi-cercle maniable*, les mouvements sont de sens contraire, et, par suite, une réduction s'opère dans la puissance du vent. Dans l'hémisphère nord, le côté dangereux est situé sur la droite de la trajectoire parcourue par le cyclone; dans l'hémisphère sud, où la rotation est renversée, ce côté se trouve sur la gauche.

On comprend tout l'intérêt qu'ont les navigateurs à bien reconnaître leur position lorsqu'ils sont enveloppés par l'ouragan, pour manœuvrer de manière à s'éloigner du demi-cercle dangereux, et surtout pour éviter le centre, qu'il faut fuir à tout prix. La découverte de la loi des tempêtes, c'est-à-dire du mouvement constant de rotation et de translation des cyclones dans chacun des

deux hémisphères, a permis, comme nous l'avons déjà dit, de donner des règles très-simples et très-claires pour déterminer, dans tous les cas, quelle est la position du navire par rapport aux deux côtés d'un ouragan.

Ainsi, il est établi d'une manière invariable que, pour un ouragan au nord de l'équateur, — avec des vents variant dans le sens des aiguilles d'une montre, soit du nord-est vers l'est et le sud-est, on est sur le côté dangereux. — Par contre, avec les vents variant dans le sens inverse des aiguilles, soit du nord au nord-nord-ouest et à l'ouest, on est sur le côté maniable. — Avec des vents constants ou à peu près de la même direction, on est dans la zone du centre.

Dans l'hémisphère sud, où le mouvement de rotation est renversé : — Avec des vents qui varient dans le sens inverse des aiguilles, soit du sud-est vers l'est et le nord-est, on est sur le côté dangereux. — Avec des vents qui varient dans le sens des aiguilles, soit du sud-ouest vers l'ouest et le nord-ouest, on est sur le côté maniable. — Avec des vents fixes, on est dans la zone du centre.

Dans ce dernier cas, le vent reste à peu près le même jusqu'à ce qu'on arrive dans le voisinage du centre. Là on éprouve un calme plus ou moins parfait, qui s'étend sur un espace proportionné à la violence de l'ouragan. Dès que cet espace dangereux est traversé, on éprouve tout à coup un vent directement opposé au premier, qui reste aussi sans variations sensibles jusqu'à ce qu'on arrive en dehors du tourbillon.

Il suffit de se représenter le disque des cyclones, conformément aux indications de la théorie, pour comprendre immédiatement les règles précédentes. Après les avoir appliquées, il reste au capitaine à déterminer la route qu'il doit suivre et la voilure qu'il doit faire pour échapper aux imminents dangers qui le menacent. Le détail de ces manœuvres, souvent difficiles au milieu de la tourmente, est donné dans le *Guide* de Piddington, dans les *Recherches* de M. Keller, dans une très-bonne notice[1] de M. Ducom, et surtout dans une récente *Étude sur les ouragans de l'hémisphère austral*[2] par M. H. Bridet, lieutenant de vaisseau, capi-

[1] *Effet des ouragans.* — Bordeaux, 1851.
[2] Imprimerie Rambosson, à Saint-Denis (île de la Réunion), 1861.

taine de port à la Réunion, qui a parfaitement réussi à vulgariser une théorie dont l'extrême utilité est évidente, et dont les applications ne sortent en aucune manière des connaissances les plus simples exigées des hommes de mer.

III

Service de météorologie télégraphique. — Prévisions du temps. — Cartes synoptiques. — Étude des orages. — Conclusion.

Nous avons dit que certains signes permettaient aux navigateurs de prévoir l'approche des cyclones. Mais dans les ports ou au voisinage des terres, les indications plus sûres des sémaphores s'ajoutent à ces signes précurseurs, qui parfois annoncent simplement des tempêtes ordinaires. Nous avons déjà fait connaître[1] les utiles applications du télégraphe à la concentration des observations météorologiques et aux avertissements à donner aux régions menacées par les ouragans. Nous rappelerons seulement ici qu'après l'ouragan du 14 novembre 1854, qui causa de nombreux sinistres dans la mer Noire, et qui s'étendit sur une immense surface, M. le maréchal Vaillant invita M. Le Verrier, directeur de l'Observatoire impérial, à entreprendre l'étude des conditions dans lesquelles s'était produit ce phénomène. A la suite des recherches qui furent alors faites, d'accord avec les astronomes et les météorologistes de tous les pays, M. Le Verrier conçut le projet d'un vaste réseau de météorologie télégraphique, destiné à avertir les marins de l'arrivée des tempêtes.

Immédiatement autorisé à entreprendre l'organisation du réseau français, M. Le Verrier, secondé par M. de Vougy, directeur général des lignes télégraphiques, put rapidement terminer ce réseau, le relier à ceux des pays voisins, et mettre ainsi l'Observatoire impérial en relations télégraphiques journalières avec 59 stations météorologiques, réparties sur toute la surface de l'Europe.

Le service journalier des prévisions du temps, inauguré en août 1863, fut bientôt complété par la création d'un Bulletin quotidien, mis à la disposition du public, et contenant des cartes

[1] *Annuaire* de 1866 : *les Progrès de la météorologie*.

synoptiques construites d'après les observations faites dans les diverses stations à 8 heures du matin, et réunies à l'Observatoire de Paris généralement avant 11 heures du matin. Ces cartes forment la base du travail de discussion effectué quotidiennement à l'Observatoire sur l'état présent de l'atmosphère en Europe et sur les changements qui s'y produisent ou s'y préparent. Le résumé de la situation est publié au bas de la carte, et un abrégé en est expédié par télégraphe aux ports de France et aux directeurs des services météorologiques de l'étranger.

On comprend que de tels documents ont dû puissamment contribuer aux progrès de la météorologie, et en particulier à la détermination des caractères présentés d'une manière à peu près constante par les perturbations atmosphériques de l'Europe. Nous regrettons de ne pouvoir suivre M. Marié Davy, sous la direction duquel les cartes météorologiques ont été d'abord construites, dans la très-intéressante partie de son livre où il examine ces caractères généraux, et où il montre l'uniformité des tourmentes qui apparaissent dans nos régions, uniformité qui a pour cause principale l'inégalité des vitesses de translation de l'ouest à l'est des divers points de la surface du globe. Cette influence, que l'on retrouve partout et qui domine toutes les autres, n'est pas seulement visible dans ses effets sur la circulation générale de l'atmosphère et des mers ; elle intervient aussi dans la formation et dans la durée des mouvements tournants, quelles que soient leur origine et leurs dimensions.

Tous les faits observés dans les grands cyclones se retrouvent dans les tourbillons d'Europe, et l'examen des journaux de bord réunis à l'Observatoire montre que ces tourbillons se forment généralement sur le grand courant de l'Atlantique, le Gulf-Stream[1], à la surface duquel on retrouve une partie des conditions observées dans la zone des calmes équatoriaux. Des tempêtes locales peuvent sans doute naître à la surface de l'Europe, mais la plupart des bourrasques qui viennent nous assaillir suivent un courant aérien dirigé vers l'Est, au-dessus du Gulf-Stream, et se déversent naturellement sur nos régions. La forme rotatoire de ces bourrasques et leur marche progressive à la surface du continent sont deux

[1] Voyez *Annuaire* de 1864 : *les Courants de la mer*.

faits d'une grande importance, constatés par les cartes synoptiques.

« Ces cartes, dit M. Marié Davy, complétées par les observations maritimes, nous montrent que les tourmentes les plus violentes, comme les plus faibles bourrasques, nous viennent de régions plus ou moins éloignées sur l'Atlantique, et qu'elles sont toujours accompagnées, en leur centre, d'une baisse barométrique proportionnée à leur degré d'énergie et s'irradiant à une distance d'autant plus grande qu'elles sont plus intenses. La base de nos appréciations s'en trouve donc assurée et fortifiée. Nous avons pu constater, de plus, le mécanisme des oscillations de leurs lignes de parcours à la surface de l'Europe, ce qui nous permet de pressentir de plus loin sur quelles régions elles devront exercer leur action, et de préjuger même l'état général de l'Océan, au moins dans sa partie le plus ordinairement fréquentée par nos navires, d'après l'état actuel de l'atmosphère en Europe : ce sont là les points qui intéressent le plus la marine.

« La force et la direction du vent ont moins d'importance pour l'agriculture que l'état du ciel. Les variations de la température, la répartition des pluies et des beaux jours, l'apparition des orages et des grêles, sont les points qui touchent le plus les cultivateurs dont les bonnes ou mauvaises récoltes sont liées aux intempéries des saisons. Or, ces intempéries elles-mêmes sont la conséquence immédiate du passage des bourrasques, et des allures affectées par les courants généraux de l'atmosphère dont elles marquent le parcours. Déterminer ces allures à un moment donné, c'est déjà fixer les régions où les accidents météorologiques peuvent se produire : qu'une bourrasque apparaisse, il devient possible de déterminer les points *menacés* par les mauvais temps. »

Les *probabilités* qui découlent ainsi de l'inspection des cartes synoptiques n'atteignent pas, on le comprend, à la hauteur d'une certitude, à cause de la multiplicité des influences qui concourent au résultat final. Mais de jour en jour l'interprétation des signes du temps devient plus facile et tend à embrasser de plus grandes périodes. Un atlas des mouvements de l'atmosphère à la surface de l'Atlantique et de l'Europe est d'ailleurs en construction, et ce travail, rapproché des travaux semblables entrepris depuis quelques années en Amérique, en Angleterre et en Hollande, éclaircira bien des points encore obscurs de la théorie des tempêtes.

L'utilité de cette théorie est évidente, et les services déjà rendus aux marins et aux agriculteurs montrent assez ce qu'on doit attendre d'une organisation plus complète et plus étendue du réseau de météorologie télégraphique, relatif aux prévisions du temps, ainsi que du développement des instructions destinées aux navigateurs.

Ainsi, par exemple, l'étude spéciale des orages, organisée par les soins de M. Le Verrier sur toute la surface de la France depuis l'année 1864, a déjà montré que ces météores suivent, avec assez de régularité, certaines routes déterminées et constantes, et qu'ils accompagnent toujours les mouvements tournants de l'air. Les instructions données aux écoles normales primaires, à la suite d'une circulaire de M. le ministre de l'instruction publique, pour les charger de noter tous les accidents météorologiques parvenus à leur connaissance, ont fourni de précieux documents pour cette étude des orages, qui a été aussi confiée à des commissions instituées dans chaque canton, afin que le phénomène puisse être signalé partout où il apparaîtra. Des commissions centrales, siégeant au chef-lieu du département, discutent les documents recueillis dans leur circonscription, et provoquent les mesures nécessaires pour que les informations soient complètes. Il ressort nettement de ce travail d'ensemble que les orages s'étendent presque toujours à une partie considérable de la France, et quelquefois la traversent dans toute son étendue. Comme d'ailleurs leur direction suit généralement la ligne de parcours des bourrasques d'été, presque aussi nombreuses, mais beaucoup moins fortes que les bourrasques d'hiver, il devient possible de prévoir leur apparition et de donner des avertissements aux divers points menacés [1].

« Le réseau télégraphique, dit très-bien M. Marié Davy, en s'allongeant à la surface du globe, forme comme un vaste système nerveux allant recevoir en chaque point, pour le transmettre au centre, l'impression résultant de la situation atmosphérique en ce point. Chaque progrès du réseau marque un progrès dans la science du temps. »

[1] L'*Atlas des orages de l'année* 1865, rédigé par l'Observatoire impérial sur les documents recueillis et discutés par les administrations départementales, publiés sous les auspices du ministre de l'instruction publique et avec le concours de l'association scientifique de France vient de paraître. Nous nous proposons d'examiner cet important travail et de faire connaître les résultats obtenus dans le prochain Annuaire.

Nous savons maintenant que cette science repose sur la connaissance des lois qui régissent les mouvements de l'atmosphère, et principalement les mouvements rotatoires ou tourbillons, dont les caractères distinctifs restent invariables, et se retrouvent même dans les plus faibles bourrasques de l'été.

Nous n'insisterons pas sur l'importance d'une telle découverte, qui ne donnera pas seulement une puissante impulsion à la météorologie et à ses nombreuses applications pratiques, mais qui contribuera aussi aux progrès de la physique du globe et de la philosophie des sciences. Si la nature, suivant la juste pensée de Carus, est « ce qui croît et se développe perpétuellement, ce qui n'a de vie que par un changement continu de forme et de mouvement intérieur, » nous devons trouver dans l'étude des lois ou des rapports qui nous permettent de remonter à la cause des phénomènes, les indices de leur lente transformation, dans le sens le plus favorable aux intérêts de l'humanité. Les anciennes traditions et les observations recueillies par les divers auteurs qui ont traité des orages et des ouragans, depuis Aristote et Pline jusqu'à nos jours, sembleraient prouver que ces désastreux météores sont devenus moins fréquents, en même temps qu'ils diminuaient de violence. Si on admet cette amélioration dans notre régime atmosphérique, nous croyons qu'il ne faudrait pas en conclure que les forces dont la nature dispose pour accomplir son œuvre se sont amoindries. Les perturbations par lesquelles se rétablit l'équilibre sont évidemment de moins en moins nécessaires, à mesure que cet équilibre devient plus stable. Mais cette stabilité, résultat d'une circulation plus régulière et plus active des agents qui entretiennent la vie à la surface du globe, ne peut s'établir que par le jeu de forces plus puissantes et plus calmes, qui, suivant une loi universelle, s'accroissent en se modérant.

ÉLIE MARGOLLÉ.

GÉOLOGIE

LA PRODUCTION ET L'ÉPUISEMENT DE LA HOUILLE LE COMBUSTIBLE DE L'AVENIR

I

La production de la houille en 1865.

C'était en 1769, le bois coûtait très-cher à Paris, comme aujourd'hui. Quelques marchands eurent l'idée de faire venir des mines anglaises des chargements de charbon de terre pour suppléer à la rareté du bois. Les bateaux, partis de Newcastle, remontèrent la Seine et arrivèrent bientôt à Paris.

Le charbon que nous envoyaient les Anglais fut essayé par les gens du peuple, et même par les bonnes maisons, comme on disait alors, dans les poêles et les cheminées des antichambres. Ce fut bientôt un cri général. On accusa le pauvre fossile de vicier l'air, de ternir le linge jusque dans les armoires, de provoquer des maladies de poitrine, et d'altérer, crime impardonnable, la fraîcheur des visages féminins. Les plaintes ne tarissaient pas. L'Académie de médecine, l'Académie des sciences furent tour à tour chargées de donner leur avis dans ce grave débat, et se déclarèrent favorables au charbon britannique ; mais ce ne sont pas les Académies, c'est le goût du public qui, en pareille occasion, prononce en dernier ressort.

Nombre d'années avant 1769, le noir minéral n'avait pas été mieux accueilli par les Parisiens. En 1714, ils l'avaient une première fois expulsé. Sous Henri II, les docteurs de Sorbonne l'avaient excommunié pour ses vapeurs malignes, sulfureuses, et un édit royal avait défendu aux maréchaux-ferrants d'employer, *sous peine de prison et d'amende, le charbon de terre ou de pierre.* Plus tard l'interdit fut levé, et Henri IV exempta même

la houille de la dîme que les exploitants payaient à la couronne en vertu du droit régalien.

Le combustible minéral avait été dans le principe aussi mal reçu à Londres qu'à Paris. Les médecins, à cause de sa fumée, et les propriétaires de forêts, parce qu'il nuisait à leur commerce, lui firent longtemps fermer les portes de la Cité. Des ordonnances royales le repoussèrent dès le début, comme plus tard en France, et ce ne fut que peu à peu qu'on consentit à se relâcher de ces rigueurs.

Aujourd'hui Londres consomme près de six millions de tonnes par an de ce combustible, dont la moitié y vient par mer, c'est-à-dire qu'il faudrait six mille navires de cinq cents tonneaux chacun pour assurer l'approvisionnement de la grande métropole, le tonneau de mer pesant d'ailleurs mille kilogrammes. Six mille navires de cinq cents tonneaux, c'est tout le mouvement annuel, au long cours, d'un grand port comme Marseille! c'est plus que tout le fret circulant chaque année le long de nos côtes. Et l'on s'étonne qu'une éternelle coupole de fumée recouvre la capitale des trois royaumes, qu'une épaisse couche de poussière noire en ternisse tous les édifices!

Paris brûle six fois moins de charbon que Londres, mais c'est encore un million de tonnes par an. La pierre jadis proscrite est maintenant partout admise, et si la douane ou l'octroi l'arrêtent, c'est pour lui faire payer l'impôt. Ce n'est pas que l'usage de la houille ne provoque toujours quelques plaintes, qui font songer aux foyers fumivores que l'on cherche sans les trouver, comme le grand œuvre des alchimistes. Il n'importe : le règne du travail mécanique est venu; le dix-neuvième siècle a inauguré l'ère de l'industrie, et l'industrie trouve dans la houille ce qu'on a si bien appelé son pain quotidien.

La houille fait aujourd'hui la fortune de courageux et patients chercheurs, de compagnies nombreuses d'exploitants, de pays tout entiers. L'Angleterre ne lui doit-elle pas en grande partie sa puissance industrielle et maritime? N'est-ce pas la houille qui anime désormais toutes les machines, celles des usines, des manufactures, des ateliers, aussi bien que les machines marines et les locomotives? Matière pesante, elle forme pour les navires marchands une cargaison avantageuse au lieu de lest; elle alimente pour moitié le mouvement des canaux et des chemins de fer. Aujour-

d'hui que la marine militaire s'est transformée par la vapeur, la houille n'intervient plus seulement dans la prospérité, mais encore dans la défense des États, si bien qu'elle a été déclarée contrebande de guerre. La houille ! n'est-ce pas elle qui éclaire les villes et qui chauffe presque tous les foyers, ceux des fabriques comme les foyers domestiques, et à ce dernier titre, n'est-elle pas le combustible du pauvre? N'est-ce pas elle aussi qui est le grand réducteur de tous les minerais métalliques ? Et comme si rien ne devait manquer à des emplois déjà si divers, n'est-ce pas de la houille que d'habiles chimistes ont récemment retiré les plus vives et les plus solides couleurs, celles qui, sous les noms de *magenta, solferino, havane,* ont fait le tour du monde avec les nouveautés de Lyon et de Paris? N'est-ce pas enfin de la houille qu'on a extrait aussi ce merveilleux produit dont la médecine s'est heureusement emparée, l'acide phénique, qui a le pouvoir de prévenir la gangrène et de *tanner* les plaies : nouveau miracle de la chimie?

Aujourd'hui, les nations les plus policées ne sauraient se passer de houille, et l'on pourrait presque juger du degré de civilisation d'un pays par la quantité de ce combustible qu'il consomme. Marquez sur une carte de France, en employant des teintes d'autant plus foncées que l'instruction est plus générale, le degré d'instruction que possèdent les habitants dans chaque département; indiquez de la même façon le chiffre de la consommation en houille, et vous serez étonné de l'analogie que les deux cartes offriront entre elles. Quels sont les départements de France qui consomment le plus de charbon de terre? le Nord, la Seine, la Moselle, le Rhône, etc., c'est-à-dire les départements les plus instruits. Et ceux qui en consomment le moins? le Gers, les Hautes-Pyrénées, le Morbihan, etc., pays où l'instruction est le moins répandue. Il n'y a pas là de paradoxe, et l'analogie est frappante. Sans doute, ce manque d'instruction avait lieu avant l'exploitation des houillères, et la raison en est due à d'autres causes. Il n'en est pas moins vrai que l'existence de mines de houille, ou un abondant emploi du combustible provoqué par la facilité, la rapidité, l'économie des voies de transport, eussent changé la situation, et profondément modifié le triste aspect des pays cités en dernier lieu. En devenant matériellement plus prospères, ils seraient forcément devenus plus éclairés.

Voyons donc ce qu'il se produit chaque année de l'indispensable

minéral, et remarquons d'abord que la production et la consommation marchent de pair, comme si une sorte d'harmonie naturelle réglait ici l'offre sur la demande, pour parler la langue des économistes.

Tous les pays brûlent de la houille, mais bien peu en extraient, et rares sont les contrées que la nature a dotées avec abondance du *diamant noir*, comme l'appellent les Anglais[1]. On compte celles dont la production est de quelque importance. C'est d'abord la Grande-Bretagne, marchant à la tête de tous les pays houillers, qu'elle laisse bien loin derrière elle, car elle produit plus qu'eux tous réunis. Elle a extrait 100 millions de tonnes en 1865. La première après la Grande-Bretagne, est l'Amérique du Nord, qui fournit 17 millions de tonnes. La Prusse occupe le même rang avec 17 millions ; puis viennent la France et la Belgique, dont les chiffres de production sont égaux chacun à 12 millions, et dépassent de beaucoup ceux de l'Autriche et de la Saxe, qui sont respectivement de 4,500,000 et de 2,500,000. Tous les autres pays de l'Europe : l'Allemagne, moins les États déjà cités, l'Espagne, l'Italie, la Russie, etc., arrivent à peine à un total de 4 millions, et toutes les autres contrées du globe réunies, j'entends celles qui extraient du charbon : l'Inde, la Chine, le Japon, l'Australie, le Chili, etc., ne fournissent guère que 3 millions de tonnes par an.

En récapitulant tous ces chiffres, on arrive à un total de 172 millions de tonnes, dans lequel la part de la Grande-Bretagne est de beaucoup plus de la moitié, celle de l'Amérique du Nord et de la Prusse d'un dixième respectivement, celle de la France et de la Belgique d'un quatorzième pour chacune, celle enfin de tous les autres pays producteurs ensemble seulement d'un douzième.

Cet état de la production houillère en 1865 est résumé dans le tableau suivant :

[1] On sait quel effet produisit sur la foule, à l'Exposition de Londres de 1851, le diamant le Ko-hi-noor. Les houilleurs anglais, jouant sur le mot indou *ko-hi-noor* (montagne de lumière), et faisant allusion aux applications de la houille, avaient mis cette inscription sur un bloc de charbon de terre : « C'est ici le vrai Ko-hi-noor. »

PRODUCTION HOUILLÈRE DU GLOBE EN 1865.

NOM DES PAYS PRODUCTEURS.		MILLIONS DE TONNES. OU MILLIARDS DE KILOGRAMMES.		
Royaume-Uni (Angleterre, Écosse, Irlande)				100
Autres pays de l'Europe.	Prusse	17	52	72
	France	12		
	Belgique	12		
	Autriche	4 1/2		
	Saxe	2 1/2		
	Bavière, Hanovre, Espagne, Italie, etc.	4		
Amérique du Nord			17	
Autres pays du globe (Inde, Chine, Japon, Australie, Chili, etc.)			3	
Total				172

Le prix moyen de la tonne de houille, sur le carreau même des mines, est de 8 à 10 francs, et de près du double, sur les lieux de consommation les plus rapprochés. Ce chiffre de 120 millions de tonnes représente donc, en évaluant seulement la tonne à 15 francs, une somme totale de plus de DEUX MILLIARDS CINQ CENTS MILLIONS de francs. C'est plus du double de la valeur des métaux précieux produits chaque année sur le globe, argent et or. Les houillères ont donc le pas sur les mines métalliques, sur celles de la Californie et de l'Australie, comme sur celles du Mexique, du Chili et du Pérou. Décidément le diamant noir a son prix, et il est doublement bien nommé.

Le combustible fossile joue d'ailleurs, dans la vie sociale des peuples, à notre époque, un rôle autrement capital que la gemme dont il a presque la composition. L'industrie ne vit que par lui. Il a suppléé le bois devenu de plus en plus rare et plus cher ; et l'on calcule que l'Europe entière, couverte de forêts, fournirait à peine, chaque année, en bois taillis et en charbon de bois, une quantité équivalente à celle de la houille consommée.

La houille a paré aussi à l'impuissance et au nombre limité des travailleurs. Le cheval-vapeur a remplacé l'esclave, la bête de trait. Et, comme il ne se fatigue jamais, qu'il est en activité jour et nuit, ne prend aucun repos, tous les moteurs animés du globe auraient peine à suffire aujourd'hui au travail qu'accomplit la vapeur.

Voyez l'Angleterre ! le charbon n'y forme pas seulement l'ali-

ment indispensable des usines, il sert de plus à charger les navires. Que la houille vienne à manquer ailleurs, l'Angleterre seule en approvisionnera le monde. Elle exporte à cette heure 9 millions de tonnes, le onzième de ce qu'elle produit. C'est par leurs dépôts de charbon que les modernes Phéniciens signalent leurs étapes maritimes sur le globe, et c'est en partie pour chauffer leurs bateaux à vapeur qu'ils charrient ainsi la houille d'un hémisphère à l'autre. Dans la Méditerranée, ils sont partout, surtout à Gibraltar, Malte, Alexandrie. Dans la mer Rouge, à Suez. Dans la mer des Indes, à Aden, Maurice, Natal, Mozambique, Zanzibar; puis à Mascate, Bombay, Madras, Ceylan, Calcutta, Rangoon, Singapour, et les stations des mers de Chine et du Japon. Dans l'Atlantique, les Malouines ou les Falkland, Buenos-Ayres, Montevideo, Rio-Janeiro, Bahia, Pernambouc, et les Açores, Madère, les Canaries, le Cap-Vert, l'Ascension, Sainte-Hélène, le Cap, les côtes de Congo et de Guinée, toutes ces stations, tous ces mouillages ont des parcs de charbons anglais. Tout l'archipel des Antilles en a également, surtout Cuba, la Jamaïque, Saint-Thomas et Colon-Aspinwall. Le long des côtes de l'Amérique du Nord, à Québec, Halifax, Boston, New-York, on lutte avec le charbon des colonies britanniques et celui des énergiques Yankees. Dans le Pacifique, c'est Panama, Guayaquil, Callao, Arica, Valparaiso, que visitent les bateaux charbonniers; et au parallèle opposé, dans l'hémisphère nord, Hawaï ou les Sandwich et San Francisco, la reine du Grand Océan, enfin, entre la mer des Indes et le Pacifique, la Nouvelle-Zélande; et cette île qui est un monde à elle seule, l'Australie. Aujourd'hui le globe appartient à celui qui peut l'alimenter de houille, et toutes les nations privées de combustible minéral sont vassales de l'Angleterre, comme l'a dit un homme d'État en plein parlement.

L'Europe, heureusement, peut en cela se suffire sans le secours du Royaume-Uni. Si la nature, dans la formation des bassins des houillers, a favorisé l'Angleterre au détriment des autres contrées du vieux monde, la plupart de celles-ci n'en possèdent pas moins des gîtes carbonifères qu'elles exploitent avec beaucoup d'ardeur. Toutefois, ce qui manque pour équilibrer la production et la consommation est emprunté à l'Angleterre. Ici encore, nous voyons apparaître le navire charbonnier britannique, non-seulement dans la Méditerranée, où nous avons déjà suivi son sil-

lage, mais sur toutes côtes de l'Atlantique, de la Manche, de la mer du Nord et de la Baltique. La France est elle-même, sous ce rapport, tributaire de la Grande-Bretagne. La quantité de 12 millions de tonnes que nous exploitons annuellement ne suffit pas à notre consommation, et nous empruntons chaque année à l'étranger environ 6 millions de tonnes, c'est-à-dire la moitié de la quantité produite ou le tiers de la quantité consommée. La Belgique, la Grande-Bretagne et les provinces Rhénanes suppléent à notre déficit, la première pour les trois cinquièmes, les deux autres chacunes pour un cinquième à peu près.

La consommation en houille de la France étant de 18 millions de tonnes, cela fait, en moyenne, près d'une demi-tonne ou cinq cents kilogrammes par habitant et par an. Nous avons vu que le Royaume-Uni consomme, au contraire, 90 millions de tonnes, ou trois tonnes par habitant, six fois plus que la France. Néanmoins, pour avoir des rapports exacts, il faudrait tenir compte aussi de la quantité de bois et d'autres combustibles végétaux brûlés par chaque pays, et tout transformer en un poids équivalent de carbone ou rapporter à une qualité de combustible constante. On ne saurait comparer, d'une manière absolue, les quantités de houille consommées par divers pays, comme on compare entre elles celles de tabac, de sucre, de café, de thé, si l'on veut cependant avoir une échelle de comparaison d'une approximation assez grossière et en nombres ronds, voici comment on peut grouper, pour 1865, les quatre grands pays producteurs et consommateurs de houille en Europe :

PRODUCTION DE LA HOUILLE EN EUROPE PAR HABITANT EN 1865.

NOM DES PAYS.	QUANTITÉ TOTALE PRODUITE.	NOMBRE D'HABITANTS.	RAPPORT PAR HABITANT.
Royaume-Uni.	100 millions de tonnes de 1,000 kil.	30 millions	3,300 kilog.
Belgique. . .	12 — —	5 —	2,400 —
Prusse. . . .	17 — —	20 —	850 —
France. . . .	12 — —	38 —	320 —

N. B. Les chiffres des populations ont été légèrement forcés, tant pour tenir compte des augmentations qui ont eu lieu depuis les derniers recensements, que pour n'opérer que sur des nombres de millions entiers.

CONSOMMATION DE LA HOUILLE EN EUROPE PAR HABITANT EN 1865.

NOM DES PAYS.	QUANTITÉ TOTALE CONSOMMÉE.	NOMBRE D'HABITANTS.	RAPPORT PAR HABITANT
Royaume-Uni.	90 millions de tonnes de 1,000 kil.	30 millions	3,000 kilogr
Belgique. . .	10 — —	5 —	2,000 —
Prusse. . . .	15 — —	20 —	750 —
France. . . .	18 — —	38 —	480 —

Il est intéressant de calculer quel nombre d'ouvriers est directement employé à produire la quantité de houille extraite annuellement. Ce nombre paraît atteindre, dans la Grande-Bretagne, le chiffre de 350,000. La France, la Belgique, la Prusse arrivent ensemble au chiffre de 200,000, dont 120,000 pour la Belgique et la France, 80,000 pour la Prusse. Ces derniers chiffres donnent en moyenne un ouvrier pour une production annuelle de 200 tonnes. Si l'on suppose que la même proportion se vérifie pour le nombre de bras occupés par le reste des houillères, on arrive à un total de plus de 700,000 hommes qui représentent très-approximativement le chiffre de l'armée des houilleurs. C'est juste le chiffre des combattants que mettent en campagne les grands pays dans les moments suprêmes; mais combien l'armée qui porte le fusil est inférieure à celle qui se sert du pic! Celle-là sème la ruine, le feu, le sang sur son passage ; celle-ci concourt activement au progrès. La première tient ses hommes presque inoccupés; la seconde renferme les plus énergiques travailleurs. L'une et l'autre emploient la poudre; mais l'une détruit, tandis que l'autre crée. Toutes deux sont vaillantes, sans doute; mais l'une ne vit que pour la guerre, l'autre est l'armée de la paix.

Si la production de la houille est sensiblement proportionnelle au nombre d'hommes qu'on emploie, elle n'est pas en raison de la surface qu'occupe le terrain exploité. On conçoit qu'une très-grande partie des bassins peut être stérile, c'est-à-dire ne renfermer que des grès, des schistes, des calcaires, et pas de charbon, comme cela se voit en Irlande, en Russie et dans quelques districts de l'Amérique anglaise. Par contre, sous une très-petite surface peut être concentrée une très-grande quantité de houille, quand les couches carbonifères sont très-nombreuses, comme en Belgique, très-épaisses et voisines du sol, comme en Angleterre. La qualité d'un combustible intervient aussi dans le chiffre de

l'extraction. Il est des houilles de composition médiocre, et qu'on n'exploite guère. Enfin, certains gîtes peuvent ne pas être utilement attaquables, à cause de circonstances particulières, comme l'éloignement des centres de consommation, le prix élevé des transports, etc. Il n'y a donc jamais de proportion exacte à établir entre la production des divers bassins houillers et la superficie qu'ils recouvrent. Il serait, dans tous les cas, plus exact de comparer le chiffre de l'extraction au cube de houille existant, que l'on obtient en multipliant la surface houillère par l'épaisseur de toutes les couches réunies. Quoi qu'il en soit, voici quels étaient les nombres généralement admis, en 1865, pour la superficie reconnue des divers bassins houillers les plus producteurs. Nous avons réduit les superficies en lieues carrées de seize kilomètres (quatre kilomètres au côté) valant seize cents hectares.

SUPERFICIE RECONNUE DES PRINCIPAUX BASSINS HOUILLERS PRODUCTEURS EN 1865.

SITUATION DES BASSINS HOUILLERS.		SUPERFICIE EN LIEUES CARRÉES.	PROPORTION DE LA SUPERFICIE HOUILLÈRE TOTALE.
Amérique du Nord (États-Unis et Provinces anglaises)		20,000	80,0 0/0
Royaume-Uni		1,000	4,0
France	200	800	3,2
Prusse	200		
Autres États de l'Allemagne	200		
Belgique	100		
Espagne	100		
Autres pays (approximativement)		3,200	12,8
Total de la superficie reconnue de tous les bassins houillers du globe en 1865		25,000	

Que nous dit ce tableau? Que la superficie houillère de l'Amérique du Nord est quatre fois plus grande à elle seule que celle de toutes les autres contrées du globe. Comme cette immense étendue recouvre dans la plupart des cas des bassins très-riches et presque encore vierges, c'est là qu'est la grande réserve de l'avenir. Si l'extraction du charbon n'y atteint pas aujourd'hui un chiffre plus élevé, c'est que les Américains ont encore le combustible de leurs forêts. Il convient cependant de faire observer que, sur le chiffre de vingt mille lieues carrées, porté au tableau des superficies houillères de ces régions, le quart ou cinq mille lieues car-

rées, appartiennent aux bassins des Provinces anglaises, qui bordent entre autres la partie sud du golfe Saint-Laurent, et sont moins productifs que ceux des États-Unis.

La superficie houillère des Iles-Britanniques n'est que le vingtième de celle de l'Amérique du Nord; mais elle en serait le dixième, si nous avions pris le chiffre de deux mille lieues carrées que donnent quelques auteurs. Très-probablement ceux-ci comprennent dans leurs calculs toute la superficie des bassins houillers de l'Irlande, fort étendus, mais très-pauvres ou tout à fait improductifs; et peut-être font-ils entrer aussi dans la surface en charbon de l'Angleterre non-seulement les bassins utilement exploitables, mais encore l'extension probable de tous les terrains houillers.

Même à son minimum, le chiffre du Royaume-Uni est encore supérieur à celui de toutes les autres contrées de l'Europe ensemble. La France, la Prusse, tous les autres États d'Allemagne, ont séparément, dans les trois cas, une superficie houillère égale, mais qui n'est à son tour que le cinquième de celle généralement admise pour l'Angleterre.

Enfin le chiffre représentant la surface en charbon que recouvre la Belgique est moitié de celui de la France; il en est de même pour les bassins espagnols. Ceux-ci sont en ce moment peu exploités; ils fournissent à peine quatre cent mille tonnes par an. C'est le grenier où d'abord ira frapper l'Europe, quand la disette sera venue.

Pour compléter les tableaux donnés précédemment, il convient de comparer l'extraction des quatre grands pays producteurs de l'Europe, en 1865, à la surface houillère correspondante :

PRODUCTION DE LA HOUILLE EN EUROPE PAR LIEUE CARRÉE DE TERRAIN HOUILLER EN 1865.

NOM DES PAYS.	QUANTITÉ TOTALE PRODUITE.	SUPERFICIE HOUILLÈRE.	PRODUCTION PAR LIEUE CARRÉE.
Royaume-Uni.	100 millions de tonnes.	1,000 lieues carrées.	100,000 tonnes.
Belgique. .	12 —	100 —	120,000 —
Prusse. . . .	17 —	200 —	85,000 —
France. . . .	12 —	200 —	60,000 —

Dans ce tableau, le rang est interverti pour la Belgique qui est montée de la seconde place à la première. Ce petit pays est donc

celui qui produit le plus de houille par lieue carrée de terrain houiller, comme c'est, après la Grande-Bretagne, qu'il suit en ceci de très-près, celui qui en fournit et consomme le plus par habitant. C'est en partie à ses canaux, à ses chemins de fer, à ses routes, que la Belgique est redevable de cette heureuse situation. Après l'Angleterre et certains États de l'Union américaine, c'est la contrée du globe qui, par unité de surface, a le plus long parcours de canaux ou de lignes ferrées.

Quand on compare la superficie houillère à la superficie totale des principaux pays à charbon, on reconnaît que, pour les États-Unis, le rapport est d'un vingtième ou d'un quart, suivant que l'on a égard, dans le premier cas, à toute l'extension de cet immense empire[1], dans le second cas, comme il est plus rationnel, à la seule étendue des États producteurs. Sur vingt ou sur quatre lieues carrées de pays, il y en a donc une en moyenne aux États-Unis qui appartient à la formation carbonifère. Pour la Grande-Bretagne le rapport est d'un dix-neuvième, pour la Belgique d'un dix-huitième, pour la Prusse d'un quatre-vingt-dixième, pour l'Espagne d'un cent cinquantième, et pour la France d'un cent soixante-dixième seulement! Il faut reconnaître que la nature, lors de la grande époque carbonifère, ne nous a guère favorisés; mais si nous regardons au-dessous de nous, comme le conseille la vertu évangélique, nous verrons des pays encore plus déshérités. L'Italie manque presque absolument du véritable terrain houiller.

Résumons pour nos quatre grands pays producteurs les chiffres que nous venons de poser.

PROPORTION DE TERRAIN HOUILLER DANS CHACUN DES PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS EN EUROPE EN 1865.

NOM DES PAYS.	SUPERFICIE TOTALE.	SUPERFICIE HOUILLÈRE.	PROPORTION DE TERRAIN HOUILLER.
Royaume-Uni.	19,000 lieues carrées.	1,000 lieues carrées.	1/19e
Belgique. . .	1,840 —	100 —	1/18e
Prusse. . . .	18,000 —	200 —	1/90e
France. . . .	34,000 —	200 —	1/170e

Ces chiffres nous apprennent que si la Belgique est le pays qui produit le plus de houille par lieue carrée de terrain houiller,

[1] La superficie totale des États-Unis est de 409,000 lieues carrées.

c'est encore celui qui, par unité de superficie géographique, possède en Europe la plus grande proportion de surface houillère. Cependant, il céderait le pas à l'Angleterre si l'on élaguait pour celle-ci la superficie de l'Irlande.

II

L'extraction croissante et l'épuisement de la houille.

En dressant les tableaux annuels de l'extraction de la houille dans tous les grands pays producteurs depuis un demi-siècle, c'est-à-dire depuis l'emploi du charbon fossile par la grande industrie, on constate une loi économique des plus curieuses. La production de la houille va partout en doublant à peu près tous les quinze ans, comme un capital placé à intérêts composés, et augmenté par conséquent de cinq pour cent chaque année. Quelques pays, venus des derniers dans cette exploitation, comme la Prusse, ou les États-Unis qui, en 1822, commençaient à peine à extraire le combustible fossile, marchent même dans une progression plus rapide. La Prusse, depuis 1830, a vu doubler son extraction tous les dix ans ; aux États-Unis le même phénomène s'est produit un moment tous les cinq ou six ans. Voici d'ailleurs, pour les dernières années, quelques chiffres tirés des documents officiels :

ACCROISSEMENT DU CHIFFRE DE L'EXTRACTION HOUILLÈRE DANS LES PRINCIPAUX PAYS PRODUCTEURS, DE 1830 A 1865.

ANNÉES.	NOM DES PAYS ET CHIFFRES DE L'EXTRACTION EN MILLIONS DE TONNES.		
	Iles-Britanniques. (tonnes anglaises de 1016 kil.).	Belgique.	France.
1835.	26	3	2 1/2
1850.	49	6	4 1/2
1865.	98	12	12
	Prusse	États-Unis (anthracite de Pensylvanie seulement.)	
1831.	1 1/2	»	
1841. . .	3	»	
1851.	6	4	
1855.	8 1/4	6 1/2	
1865. . . .	17	10	

Comme rien n'annonce que la progression partout constatée ne doive pas continuer à suivre son cours, on est rationnellement conduit à se demander à quelle époque les houillères seront épuisées, et quel combustible remplacera la houille après sa disparition totale. Double problème comme ne s'en était jamais présenté jusqu'ici d'analogue dans l'évolution des sociétés.

Examinons l'une après l'autre chacune de ces intéressantes questions.

La durée de l'exploitation des houillères, que les géologues avaient d'abord fixée à des milliers d'années pour des productions qui n'étaient pas le quart de celles dont il s'agit aujourd'hui, ne dépassera peut-être pas cinq ou six cents ans. On peut même affirmer hautement que dans les pays incessamment fouillés de l'Europe, l'extraction souterraine du combustible minéral n'ira pas certainement jusqu'à la moitié de cette durée. Ainsi, en septembre 1863, sir William Armstrong, président annuel de l'*Association britannique*, demontrait que dans deux siècles toutes les couches de houille du Royaume-Uni seraient entièrement épuisées. Nous savons que sir Roderick Murchison, présidant à son tour l'Association, a rappelé en 1865 les calculs de son prédécesseur et en a confirmé les résultats.

Tout au plus pourrait-on porter ce chiffre au double ou au triple pour des pays comme l'Amérique du Nord, dont les immenses gisements restent presque encore vierges. Mais sur ce point comme dans toutes les autres contrées houillères de l'Asie, de l'Afrique, etc., le charbon ne pourra jamais s'appliquer, sauf des cas tout exceptionnels, qu'aux consommations locales. D'ailleurs la houille, du moins quand on veut l'employer aux grandes opérations industrielles, n'est pas matière de si grand prix qu'elle puisse supporter de très-longs transports, même par mer. Aujourd'hui, dans l'océan Indien, à l'île Maurice, à l'île de la Réunion, où il y a des dépôts de charbon anglais, la marine à vapeur seule consomme le combustible minéral. Pour les sucreries et autres usines indigènes, le prix en est trop élevé. A Suez, dans la mer Rouge, nous avons vu ce prix monter à cent francs par tonne.

Faut-il admettre que le chiffre de la consommation, dans la plupart des États européens, finira par diminuer quelque jour, quand tous les réseaux de chemins de fer, partout achevés, exigeront la fermeture de quelques-unes de nos usines métallurgiques, quand

on aura suppléé par une autre matière au charbon minéral pour la fabrication du gaz d'éclairage? Mais cet abaissement dans la consommation sera-t-il bien notable, et le surplus du combustible, exigé par le plus grand nombre de locomotives et de bateaux à vapeur ne viendra-t-il pas détruire en partie d'un côté l'économie produite de l'autre?

Il y a donc, dans l'épuisement certain de nos houillères, épuisement qu'un calcul mathématique, dont nous avons maintenant tous les éléments, permettrait presque d'indiquer à jour fixe pour chaque localité, et auquel rien ne semble jusqu'ici pouvoir parer, une question à la fois des plus graves et des plus curieuses. Cette question, sans être précisément menaçante pour la génération actuelle, et quelques-unes de celles qui la suivront, ne mérite pas moins de fixer dès aujourd'hui l'attention, et appelle le plus sérieux examen. C'est l'avis de l'Angleterre et de la Belgique elle-même, qui dressent en ce moment le bilan de leurs richesses minérales, et cubent leurs forêts souterraines.

Dans toutes les houillères, la question est à l'ordre du jour : on s'inquiète des moyens d'extraire le charbon jusqu'à mille mètres et plus de profondeur ; et de minces couches de combustible, des qualités de houille médiocres, dont on ne faisait nul cas, il y a vingt ou trente ans, sont aujourd'hui considérées comme parfaitement aptes à l'exploitation et à la vente. On tire parti de tout pour mourir le plus tard possible. On fait les plus grandes économies, on a recours aux mécanismes les plus parfaits, les plus ingénieux, pour rendre le prix de revient minimum.

En adoptant tous les perfectionnements, comme en explorant mieux, en étudiant mieux les houillères, on retardera, mais on n'empêchera pas la disparition du charbon minéral. Un jour ou l'autre, les bassins houillers fussent-ils dix fois plus étendus, dix fois plus nombreux qu'on ne le suppose aujourd'hui, cette disparition de la houille aura lieu. Ce jour à venir est une seconde dans la durée infinie des siècles, découvrît-on de nouveaux gîtes houillers en cent lieux divers, trouvât-on le moyen d'exploiter économiquement la houille au delà de mille mètres, et de résoudre pratiquement les difficultés sans nombre que l'aérage, l'extraction, l'épuisement, présenteront à ces énormes profondeurs.

La machine à vapeur, dont le combustible minéral est, à vrai dire, le pain quotidien, la machine à vapeur pour laquelle on ex-

ploite surtout le charbon, ne saurait elle-même être avantageusement remplacée. Cet admirable et merveilleux engin, tel qu'il est sorti tout entier de la tête de Watt, un des plus grands génies dont s'honore l'humanité, reste, sauf le perfectionnement des détails, auxquels on travaille tous les jours, le dernier mot de la mécanique moderne. Les recherches récentes entreprises par tant de savants sur l'*équivalent mécanique* de la chaleur, ne démontrent-elles pas, du reste, que la force que restitue le combustible à la machine à vapeur, n'est que le produit de la chaleur solaire condensée dans le carbone qui a formé la houille à l'époque des temps géologiques ? Ces mêmes recherches ne prouvent-elles pas que ces trois agents, lumière, chaleur et force, ne sont que les trois manières d'être d'un seul et même agent, et que, par conséquent, vouloir substituer quelque chose à la houille dans le chauffage des chaudières à vapeur, ou compter sur la découverte d'un nouvel agent moteur économique, ce serait vouloir substituer le carbone au carbone, ce qui nous conduit à tourner dans un cercle vicieux, à moins de retomber sur des matières carbonées, comme le pétrole ? « Ce n'est pas la puissance de la vapeur, disait le grand ingénieur Robert Stephenson[1], en voyant s'avancer un convoi, qui entraîne cette locomotive, c'est la chaleur solaire ; c'est elle qui a fixé le carbone dans les plantes qui à leur tour ont formé la houille, il y a des millions d'années. » Ainsi, rien ne se crée, rien ne se perd dans la nature, pas plus la force que la matière, et les locomotives, comme le disait encore Stephenson, ne sont que les *chevaux du soleil*.

Il est certainement rationnel de chercher une machine calorifère parfaite pour économiser le plus possible, dans la production de la vapeur, sur la consommation de la houille, dont la plus notable partie va se perdant en fumée. L'économie ainsi réalisée serait notable, car souvent on n'utilise pas plus du dixième de la puissance calorique ou motrice du charbon. En ce sens, on peut donc dire que notre meilleure exploitation sera l'économie que nous ferons un jour sur les quantités de houille communément employées. Quant à l'adoption d'un nouveau moteur, l'expédient qu'on a indiqué quelquefois n'est guère consolant, puisqu'on a proposé les

[1] Le fils de George Stephenson, créateur avec son père des premiers chemins de fer anglais.

chutes du Niagara pour faire marcher toutes les manufactures du monde qu'on voudrait concentrer dans leur voisinage. On se servirait alors de l'eau, soit directement, soit pour comprimer l'air, et obtenir de cette dernière façon le plus avantageux et le plus économique des moteurs. Tout cela est très-bien en théorie, mais peu applicable en pratique. D'ailleurs, imposer aux usines le voisinage d'un cours d'eau, ce n'est pas seulement remonter vers le passé, c'est encore rendre aujourd'hui bien peu d'établissements possibles. Ce n'est que dans des cas tout particuliers, comme celui, par exemple, du percement des Alpes, que l'emploi de l'air comprimé devient utilement et économiquement applicable.

On ne saurait non plus opposer aux machines à vapeur les machines électro-motrices auxquelles on avait pensé un moment, il y a quelques années, et qui sont restées et resteront à l'état de jouets mécaniques ; non plus que les machines à gaz, à air dilaté, autour desquelles on a fait récemment tant de bruit. Ces dernières ne consomment-elles pas, pour une force donnée, beaucoup plus de combustible, souvent trois et quatre fois plus que la machine ordinaire ? Si elles l'emportent quelquefois sur celle-ci, notamment pour de petites forces comme le montre la machine Lenoir [1], n'est-ce pas simplement à cause de dispositions particulières, et non à cause de l'économie du combustible qu'elles ne réalisent jamais ? Encore moins faut-il songer aux machines à explosion qui, de leur nature, ne sont guère susceptibles d'application, hormis pour le jet des projectiles. Les machines où l'on voudrait produire la vapeur par le frottement n'offrent qu'un intérêt de curiosité ; les machines à vapeur combinées, si ingénieuses, si bien agencées, surtout celles de M. du Tremblay, n'ont fourni que des preuves à peu près négatives, ainsi que les machines à air chaud, même celle d'Ericson. [2].

Ainsi, en l'état de nos connaissances, on ne saurait remplacer la

[1] Voyez *Annuaire* de 1862 : *les Moteurs à gaz.*

[2] On appelle machines à vapeurs combinées ou mieux machines binaires celles où l'on emploie la chaleur perdue de la vapeur d'eau, après qu'elle a agi sur le piston du cylindre, à vaporiser un liquide plus volatil que l'eau, tel que l'éther, le chloroforme, etc., qui agit à son tour par sa détente sur un autre cylindre. On économise ainsi, pour une force donnée, jusqu'à cinquante pour cent de houille. M. du Tremblay, un de nos plus savants mécaniciens, s'est fait surtout remarquer dans l'invention de ces machines ; mais il a lutté contre des difficultés presque insurmontables : la nature

vapeur par rien de plus simple et de plus complet. A quoi donc empruntera-t-on la force mécanique et le combustible lui-même quand la houille aura disparu, ou sera devenue trop coûteuse par suite d'une trop grande profondeur au-dessous du sol, ou de l'éloignement des derniers gîtes des centres de consommation? La question semble jusqu'ici insoluble, et la science est à peu près muette sur la façon de satisfaire au problème. Les uns parlent du reboisement des forêts et du combustible végétal pour remplacer un jour la houille, comme celle-ci avait remplacé le bois ; mais le monde ne recule pas. Au reste, n'avons-nous pas dit qu'il avait été prouvé que la surface entière de l'Europe couverte de forêts ne suffirait plus aujourd'hui aux besoins de l'industrie, et ne donnerait pas annuellement, en bois et charbon de bois, une quantité équivalente à celle de houille consommée? Il y a aussi le pétrole. Peut-être suppléera-t-on dans bien des cas à la houille par cette matière, dont on a découvert de si vastes gisements aux États-Unis; mais elle ne sera jamais aussi abondante que le charbon, et l'extraction n'en sera pas non plus d'aussi longue durée; déjà le chiffre diminue.

Au lieu d'en appeler au bois et au pétrole, il faudrait chercher de préférence à décomposer *économiquement* l'eau et les calcaires si abondamment répandus sur la surface du globe. L'eau renferme les deux éléments de la plus vive chaleur, l'oxygène et l'hydrogène; le calcaire, l'acide carbonique et partant le carbone. Il faudrait aussi tenter de découvrir un nouveau moteur dans l'application rendue usuelle, s'il était possible, de l'air comprimé. Pour atteindre ces différents buts, la chimie, la physique et la mécanique devraient entrer résolûment en campagne, les deux premières en sondant plus intimement le mystère de la combinaison des corps et celui de l'électricité; la mécanique en arrivant au moyen de

explosible des liquides employés et la résistance qu'ils opposent à la condensation dans les températures estivales et torrides.

Dans les machines d'Ericson, l'air chauffé agit par sa force élastique sur le piston du cylindre à la façon de la vapeur d'eau. En sortant, il cède toute sa chaleur à un treillis métallique très-serré par lequel arrive à son tour l'air froid qui s'échauffe en traversant le treillis, puis en passant sur un foyer. Ce système, aussi économique qu'ingénieux, n'a pu sauver la machine Ericson, que la fréquence des réparations provoquées par la nature même de l'invention, a fait rejeter dans la pratique.

comprimer l'air autrement que par le feu ou le voisinage des cours d'eau. Qui sait si un moteur naturel mis si généreusement à notre disposition par la nature, le vent, ne trouverait pas là quelque application cachée ?

Enfin on ne peut nier, que l'on soit ou non partisan de l'hypothèse du feu central, qu'il y a pour ainsi dire sous nos pieds de nombreuses sources de calorique. Les eaux thermales qui atteignent souvent la température de l'eau bouillante, les eaux chaudes remontant par les puits artésiens, les gaz combustibles que les Chinois vont chercher sous le sol avec la sonde, ou les vapeurs à cent degrés que ramène également la tarière dans les *soffioni* de la Toscane, tout cela semble démontrer qu'il y a sous l'écorce terrestre une réunion de calorique inépuisable qui n'attend qu'un moyen d'écoulement.

III

Le combustible de l'avenir.

En présence de l'épuisement certain des houillères et de la nécessité de suppléer au combustible fossile par des procédés moins délicats que ceux que l'on vient de passer en revue, il y aurait, selon nous, une véritable découverte à faire, ce serait celle qui consisterait à utiliser, à condenser l'immense chaleur perdue du soleil, en un mot, à *mettre le soleil en bouteilles*. Cette solution, que nous indiquait un jour plaisamment un homme familier avec toutes les spéculations de la science, nous l'avons à notre tour adoptée avec une entière conviction[1]. Les Anglais n'ont-ils pas dit les premiers que le charbon « c'est du soleil en cave? » Que devient toute la chaleur que l'astre du feu verse inutilement dans

[1] « — Ainsi, vous voulez mettre le soleil en bouteilles? me disait un jour un incrédule.

— Je le veux, et j'en indique les moyens.

— Comment cela?

— N'emmagasinez-vous pas le froid, qui n'est qu'une chaleur négative, si l'on peut ainsi parler? Eh bien! vous emmagasinerez aussi la chaleur solaire.

— Je vous écoute.

— Suivez bien mon raisonnement : exposez au soleil des boules d'argile réfractaire capables de s'échauffer jusqu'au rouge blanc sans se fondre. Dirigez sur elles les rayons solaires avec un miroir réflecteur, vous n'atteindrez pas la température du rouge, loin de là; mais l'argile concentrera, pour ainsi dire, une partie des rayons qui tomberont sur elle. Conservez ces boules

les longs jours d'été sur notre sol, dans nos villes, sur nos places? On pourrait donc un jour revenir aux miroirs d'Archimède, et renouveler à ce sujet les étonnantes expériences de combustion qui ont été refaites par Buffon ou ses disciples sur la foi du géomètre grec; mais ici encore l'essai ne semble guère tout d'abord applicable en pratique. Se servir en industrie du soleil comme combustible avec des miroirs réflecteurs qui en concentrent et renvoient les rayons, n'est-ce pas supposer la présence quotidienne, sinon continue de cet astre, ce qui nous reporte à certaines régions du globe où jamais il ne pleut, mais où la vie civilisée n'a guère fait son apparition? Ne sont-ce pas lieux encore moins propices que les chutes du Niagara à la grande industrie moderne?

Quoi qu'il en soit, c'est dans le soleil sans doute que réside le combustible de l'avenir. Les plus récentes découvertes faites en physique sur la chaleur autorisent cette manière de voir, et elle dérive, pour ainsi dire, naturellement des curieuses expériences

ainsi chauffées dans un four *ad hoc*, comme vous mettez la neige dans les glacières. Dans celles-ci, vous empêchez l'accès de la chaleur extérieure par des doubles enveloppes comblées de paille, etc. Le même procédé vous servira, pour vos boules chauffées, à empêcher la diffusion, la déperdition de la chaleur intérieure. La physique ne vous enseigne-t-elle pas que la paille, la laine, la plume, en un mot tous les objets qui retiennent et gênent les mouvements de l'air, que l'air lui-même emprisonné, sont mauvais conducteurs du calorique?

— Où voulez-vous en venir?

— Je termine et vous allez comprendre. Je vous livre mon secret sans demander aucun brevet. Voilà donc vos boules conservées chaudes en magasin. Je suppose que vous vouliez faire bouillir de l'eau. Vous jetez dans votre chaudière ou votre marmite, suivant qu'il s'agit d'une machine à vapeur ou d'un pot au feu, une, deux, dix, douze, quinze boules, et votre eau entre en ébullition. En Californie, j'ai vu ainsi les Indiens faire bouillir de l'eau dans des paniers en osier si bien tressés, soit dit en passant, qu'ils ne laissent rien filtrer au travers. Sans doute les Indiens ne font pas usage de la chaleur solaire bien qu'en Californie, où la température, l'été, s'élève jusqu'à cinquante degrés centigrades, on se brûle quelquefois les mains en voulant toucher à des cailloux de couleur sombre sur lesquels tombe le soleil; mais les Indiens emploient des pierres qu'ils ont exposées au feu. Ils les jettent dans l'eau une à une, et l'eau bout en peu d'instants. On m'a dit que les Russes élevaient de même à volonté la température de leurs bains, ce qui vaut mieux que les moyens primitifs dont nous faisons encore usage à Paris.

— Je vous comprends maintenant; mais vous en êtes avec vos boules au point où en était Archimède avec ses miroirs.

— Je ne l'ignore point, mais un proverbe dit : Qui vivra, verra. »

qui, en Allemagne, en Angleterre et en France, ont illustré les noms de tant de phycisiens. Qui vivra verra, et l'on peut dire certainement que l'extinction des houillères ne marquera pas la fin du monde, au moins du monde civilisé. Il y a là comme pour le fer, comme pour tous les métaux, si indispensables aux progrès de la civilisation, une sorte d'*harmonie préétablie*, qui a réglé toutes choses bien mieux que celle imaginée par le philosophe allemand. Il faut aussi être un peu partisan des causes finales, et si le fer et le charbon, créés pour ainsi dire de tout temps, n'ont réellement été exploités d'une façon active et suivie qu'à notre époque, si bien qu'on peut presque en annoncer la disparition prochaine, surtout pour le charbon, qui ne se réemploie, qui ne se retrouve pas comme le fer, on peut assurer qu'après la houille nous découvrirons quelque chose d'équivalent, fût-ce dans le soleil. C'est donc vers cet astre que devront se tourner les futurs chercheurs, et il en naîtra bientôt par centaines, quoiqu'on ne puisse dire encore dans quel sens précis les recherches devront être poursuivies. Le germe de chaque grande invention, inerte pendant des siècles, éclôt à son heure, et de même que l'éolipyle de Héron d'Alexandrie a près de deux mille ans attendu que Savery, Newcomen et surtout Watt naquissent pour en tirer la machine à vapeur, de même les miroirs d'Archimède semblent destinés à montrer aux inventeurs futurs la voie dans laquelle ils devront chercher le nouveau combustible de l'industrie. A ceux qui émettraient des doutes à ce sujet, se fondant sur l'impossibilité d'une telle application du soleil, nous répondrons : « qui eût jamais pensé, en voyant le couvercle d'une marmite se soulever sous la pression de la vapeur d'eau, qu'il y eût là le germe de la force la plus formidable? »

Le soleil est donc sans doute le combustible de l'avenir, et les régions torrides, aujourd'hui presque désertes, verront peut-être quelque jour les peuples civilisés émigrer en masse vers elles, comme autrefois les Barbares en Europe. Que ces prévisions paraissent ou non paradoxales, il est certain, on le répète, que le monde ne périra pas, faute de charbon ; et si jamais une preuve éclatante aura été donnée de la vigueur du génie humain, ce sera le jour où la découverte d'un nouveau combustible, si ce n'est l'application du soleil aux usages calorifiques industriels, aura illustré la science, fière déjà de tant de grandes découvertes.

L. Simonin.

BOTANIQUE ET PHYSIQUE VÉGÉTALE

I

LA NUTRITION DES VÉGÉTAUX

Une graine est semée, sous l'influence de l'air, de l'eau, d'une douce température, la vie s'éveille, l'albumen se gonfle, s'entr'ouvre, les premières feuilles apparaissent, elles percent la terre, verdissent, et la jeune plante qui a d'abord puisé ses aliments dans la graine, sa nourrice, commence sa vie régulière. A l'aide des racines déliées qu'elle enfonce dans le sol, des feuilles qui s'agitent constamment dans l'air, elle puise dans la terre et dans l'atmosphère les matériaux nécessaires à son développement et à l'élaboration de principes immédiats variés.

Dans l'étude des phénomènes qui se succèdent depuis la germination jusqu'à l'épanouissement de la plante et à la formation d'une graine nouvelle, deux problèmes différents se présentent au chercheur. Il peut d'abord s'efforcer de déterminer quels sont les éléments que la plante s'assimile, sous quelle forme elle les demande, comment elle les choisit, et c'est là le problème de la nutrition végétale ; ou bien le chimiste peut aborder une seconde recherche et s'efforcer de dévoiler le mécanisme de l'élaboration des principes immédiats. Si nous étudions le froment, nous pouvons nous demander où il trouve le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, l'azote, les phosphates, la silice, qui entrent dans sa constitution, et rechercher ensuite comment ces éléments arrivent à produire de l'amidon, du gluten et de la cellulose. Si notre étude se porte sur la betterave, nous voudrons encore savoir comment elle se nourrit, comment elle ne se charge pas de silice, mais bien d'une quantité notable de potasse ; et comment encore, avec les éléments qu'elle sait choisir autour d'elle, elle fabrique du sucre au lieu de produire de l'amidon.

Chacun de ces deux problèmes présente des difficultés spéciales,

chacun d'eux abordé déjà, est encore loin d'une complète solution. Si la remarquable série de travaux synthétiques entrepris depuis une dizaine d'années par M. Berthelot[1], a démontré qu'à l'aide des forces chimiques convenablement mises en œuvre, on pouvait reproduire quelques-unes des matières que sécrètent les végétaux, s'il a fait ainsi entrevoir la possibilité pour la science de déterminer exactement le mécanisme de la formation de ces principes immédiats, il faut bien reconnaître que la question est plutôt posée que résolue, et que nous ignorons encore absolument comment telle plante sécrète de l'amidon, tandis que telle autre élabore du sucre. Cette importante recherche n'a pas fait cette année de progrès sensibles, et nous ne voulons pas y revenir aujourd'hui, mais il n'en est pas de même de la première question qui se présente au physiologiste, et bien qu'à différentes reprises nous ayons indiqué quelques-uns des beaux travaux qui ont commencé à nous faire comprendre comment les végétaux peuvent exercer une action remarquable sur notre atmosphère[2], des publications importantes dues à M. Boussingault et à M. Correnwinder sur les fonctions des feuilles, l'actualité que conserve toujours la discussion si longtemps continuée de l'absorption de l'azote gazeux, enfin un travail considérable qui nous a occupé pendant deux années, et auquel l'Académie a bien voulu accorder une de ses hautes récompenses dans sa séance publique de mars dernier, nous ont paru former un ensemble assez important pour que nous ayons cru devoir cette année, appeler l'attention du lecteur sur *la nutrition des végétaux*.

I

ASSIMILATION DU CARBONE PAR LES VÉGÉTAUX.

Conditions dans lesquelles la plante assimile le carbone. — Vie de la plante à la lumière et à l'obscurité. — Expériences de MM. Th. de Saussure, Boussingault, Correnwinder. — Les feuilles ne fonctionnent qu'autant qu'elles sont vivantes — Leur action sur l'acide carbonique pur. — Hypothèses sur la fixation du carbone sous forme de glucoside. — Les végétaux n'émettent pas d'oxyde de carbone. — MM. Boussingault, Cloëz et Calvert.

Nous avons, dans les volumes précédents de l'*Annuaire*, exposé l'historique des découvertes importantes qui, à la fin du dernier

[1] Voy. *Annaire* de 1862 et de 1863 : *la Synthèse en chimie organique*.
[2] Voy. *Annuaire* de 1863 : *la Composition de l'atmosphère*.

siècle et au commencement de celui-ci, ont esquissé l'ensemble des phénomènes qui accompagnent la fixation du carbone par les végétaux. Nous avons cité les expériences remarquables de Bonnet, de Priestley, d'Ingen-Housz, de Sennebier, de Th. de Saussure, de MM. Cloëz et Gratiolet, de M. Boussingault, nous montrant comment les végétaux, éclairés par les rayons du soleil, purifient l'air chargé d'acide carbonique et dégagent une quantité d'oxygène presque égale à celle qui se trouvait dans l'acide carbonique disparu.

L'intervention d'une force considérable est nécessaire pour déterminer la séparation du charbon et de l'oxygène, qui constituaient l'acide carbonique primitif : en l'absence des rayons solaires, cette décomposition n'a pas lieu. On a remarqué que dans quelques cas, les plantes maintenues dans l'obscurité semblent paralysées et n'émettent pas plus d'oxygène que d'acide carbonique ; mais c'est là de beaucoup le cas le plus rare, et habituellement les plantes vivent dans l'obscurité, à la façon des animaux, et consomment de l'oxygène au lieu d'en dégager ; le fait est connu depuis longtemps, toutefois quelques expériences que nous avons faites dans l'été de 1864, en ont donné une preuve saisissante[1]. Une plante marécageuse fut placée dans l'eau légèrement chargée d'acide carbonique. Exposée à la lumière, elle décomposait cet acide carbonique et mettait en liberté l'oxygène qu'on pouvait recueillir, mais le phénomène changeait complétement lorsque la plante, encore placée dans l'eau ordinaire renfermant par conséquent une certaine quantité d'air était maintenue dans l'obscurité ; dans ces nouvelles conditions, la plante non-seulement n'émettait plus d'oxygène, mais même absorbait complétement tout l'oxygène que l'eau tenait en dissolution, et si on déterminait la composition du gaz dissout dans l'eau, on le trouvait exclusivement composé d'acide carbonique et d'azote. La plante au reste ne pouvait pas longtemps supporter l'absence de l'oxygène, elle mourait bientôt asphyxiée, et lorsqu'on la plaçait à la lumière, elle était devenue inerte et ne décomposait plus l'acide carbonique.

On voit donc que, lorsqu'elle est à l'abri des rayons lumineux, la plante vit absolument comme un animal, en émettant de l'acide carbonique ; elle ne fonctionne comme appareil de réduction qu'autant qu'on l'expose à la lumière.

[1] *Bulletin de la Société chimique*

En étudiant avec détail les phénomènes qui accompagnent la vie végétale dans l'obscurité, M. Boussingault est même arrivé à établir d'une façon plus complète l'analogie qu'ils présentent avec ceux de la vie animale. La combustion lente dont les tissus sont le siége, est non-seulement démontrée par une émission constante d'acide carbonique, par conséquent, par une perte de carbone, mais aussi par une oxydation des principes albuminoïdes semblable à celle qui a lieu dans l'organisme animal. Si on fait germer des graines dans l'obscurité, on obtient de petites plantes blanches, délicates, sans vigueur, qui se traînent bientôt sur le sol où elles végètent. En déterminant leur composition au moment où elles périssent, on trouve qu'elles ont non-seulement brûlé partiellement les principes carbonés qu'elles renfermaient, mais que les principes albuminoïdes oxydés ont donné naissance à de l'asparagine, analogue par sa constitution à l'urée qu'on trouve dans les tissus et dans le sang des animaux, qui brûlent dans l'acte respiratoire les matières albuminoïdes des aliments.

Si ces phénomènes d'oxydation des tissus prenaient pendant l'obscurité de la nuit, l'importance des phénomènes de réduction qui ont lieu pendant le jour, il est clair que les végétaux ne pourraient s'accroître; mais bien que l'émission de l'acide carbonique dans l'obscurité soit très-habituelle, la perte de la nuit n'égale pas le gain du jour; il faut remarquer d'abord que tout le gaz carbonique dégagé ne provient pas de l'oxydation des tissus et qu'en partie, au moins, il provient du sol ; l'eau chargée d'acide carbonique pénètre dans les tissus par les racines, et dans l'obscurité est émise par les feuilles sans décomposition. M. Boussingault a reconnu récemment, en effet, qu'un rameau de laurier dépouillé de feuilles et placé dans l'obscurité, émettait un gaz qui se rapprochait par sa composition de l'air confiné dans la terre arable, et M. Correnwinder, qui depuis longtemps déjà poursuit avec persévérance ses recherches sur la végétation, a reconnu que la quantité d'acide carbonique émise pendant la nuit est infiniment plus faible que celle qui est décomposée pendant le jour, que trente minutes d'insolation le matin suffisent souvent aux plantes pour récupérer toute la quantité de carbone qu'elles peuvent avoir perdu durant la nuit.

Il est encore deux conditions essentielles pour que les feuilles puissent exercer leur action réductrice : il faut qu'elles soient

vivantes, et qu'elles soient plongées dans l'acide carbonique dilué.

Nous avons vu plus haut que dans nos expériences sur les plantes marécageuses, les feuilles ne fonctionnaient plus quand la plante était restée quelque temps dans l'obscurité et qu'elle avait été ainsi *asphyxiée* par le manque d'oxygène; le même fait ressort de nombreuses expériences publiées dans ces derniers temps par M. Boussingault[1], qui démontrent que les feuilles maintenues à l'obscurité dans de l'air atmosphérique pendant un certain temps, ne perdent pas complétement leur faculté réductrice, mais qu'elles deviennent incapables de décomposer l'acide carbonique, si on les maintient à l'obscurité pendant le même temps, dans une atmosphère d'acide carbonique, d'hydrogène ou d'azote; l'asphyxie dans ce cas est complète, la feuille est morte et ne peut plus exercer son action caractéristique; les feuilles meurent aussi quand on les prive de l'eau qu'elles renferment normalement: des feuilles désséchées plus ou moins anciennes ne décomposent pas l'acide carbonique. Les deux côtés de la feuille n'exercent pas non plus une action égale sur l'acide carbonique, et tout récemment M. Boussingault confirmant une opinion émise confusément par Ingen-Housz, a reconnu que la partie vernissée de la feuille, l'*endroit*, décomposait deux ou trois fois plus d'acide carbonique que l'envers.

Des feuilles vivantes, placées à la lumière dans l'acide carbonique pur, ne le décomposent pas, ou, si elles le décomposent, ce n'est qu'avec une excessive lenteur. On pourrait supposer, en rapprochant ce fait de la décomposition qui se produit dans une atmosphère renfermant une petite quantité d'acide carbonique mêlé à l'air atmosphérique, que la présence de l'oxygène est nécessaire à la réalisation du phénomène; c'est une erreur, car les feuilles décomposent rapidement l'acide carbonique lorsqu'il est mêlé à du gaz azote et à du gaz hydrogène. Il est remarquable que les circonstances dans lesquelles se produit la décomposition de l'acide carbonique soient analogues à celles dans lesquelles on obtient la combustion lente du phosphore; on sait, en effet, que le phosphore n'est pas lumineux dans l'oxygène pur, mais qu'il le devient immédiatement dans du gaz oxygène dilué par de l'azote ou de l'hydrogène. On sait enfin que la combustion lente du phos-

[1] *Comptes rendus*, t. LVI. — 1865.

phore, qui détermine sa phosphorescence, a lieu sous l'influence de l'oxygène pur soumis à une faible pression... l'analogie se poursuit pour l'action qu'exercent les feuilles sur l'acide carbonique, car la faculté décomposante apparaît aussitôt que le gaz est suffisamment dilué par une diminution de pression. « Il a été possible de décomposer un centimètre cube d'acide carbonique avec une petite feuille de laurier-cerise placée dans du gaz à une pression de $0^m,67$ [1]. »

Nous connaissons assez complétement aujourd'hui les conditions dans lesquelles se fixe le carbone dans les végétaux; mais il faut reconnaître que nous n'avons encore qu'une idée incomplète du mode de formation des principes immédiats dans lesquels entre ce carbone. On sait que la plupart des matières qui forment les tissus des végétaux peuvent être représentées par du carbone et de l'eau; on sait encore que, lorsqu'un certain volume d'acide carbonique est décomposé par les végétaux, on recueille un volume d'oxygène précisément égal à celui de cet acide carbonique, et il semble au premier abord que, dans les végétaux, le carbone naissant provenant de la décomposition de l'acide carbonique ait la faculté de s'unir à l'eau, pour former un des hydrates de carbone qui représente le glucose, l'amidon ou la cellulose. Il n'est pas certain cependant qu'il en soit ainsi, et on peut concevoir un autre mode de formation de ces principes immédiats, dans lequel on ne serait pas obligé d'admettre la combinaison peu probable du carbone avec l'eau.

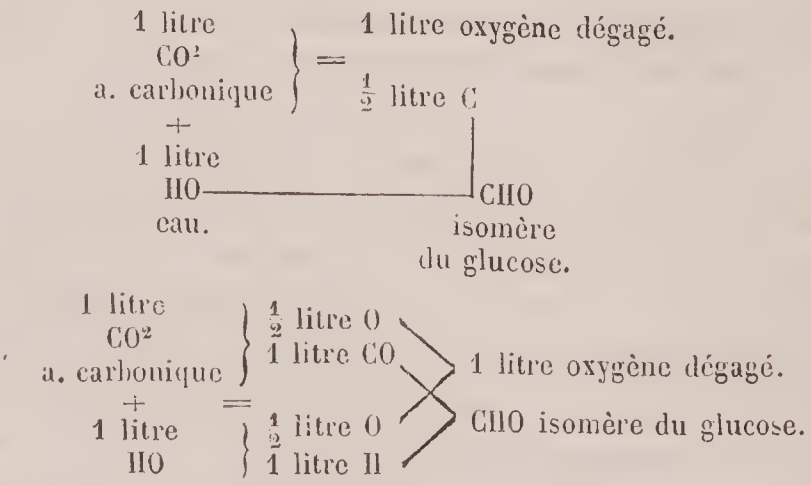
On peut représenter la composition d'un litre d'acide carbonique, soit par un litre d'oxygène et un demi-litre de vapeur de charbon, soit par un litre d'oxyde de carbone et un demi-litre d'oxygène; on peut représenter la composition d'un litre de vapeur d'eau par un litre d'hydrogène et un demi-litre d'oxygène. Or, quand l'acide carbonique se décompose sous l'influence de la végétation, rien n'annonce qu'il se décompose intégralement en oxygène et en carbone. Il est possible qu'il se forme de l'oxyde de carbone et de l'oxygène; mais il faut alors que la vapeur d'eau se décompose du même coup en hydrogène et en oxygène, car l'oxyde de carbone conservant la moitié du volume d'oxygène contenu dans l'acide carbonique, il faut trouver un demi-volume d'oxy-

[1] Boussingault, *Comptes rendus*, t. LX, p. 872. — 1865.

gène à ajouter à celui qui provient de l'acide carbonique pour obtenir un volume d'oxygène égal à celui qui était contenu dans l'acide carbonique, puisque c'est ce volume d'oxygène qui apparaît au moment de la décomposition. Il resterait dès lors de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène, l'un et l'autre à l'état naissant, dans un état particulièrement favorable à la combinaison. — On remarquera que ces trois corps, en s'unissant, donneraient une matière isomère avec le glucose ; celui-ci s'écrit en effet $C^{12}H^{12}H^{12}$ ou un multiple plus compliqué, et rien n'indique qu'au moment où se fait la soudure de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène, plusieurs molécules ne se réunissent pas pour donner naissance à du glucose [1].

Cette hypothèse, émise par M. Boussingault depuis longtemps, peut être appuyée par quelques faits qu'il importe de signaler ; et d'abord Th. de Saussure a reconnu depuis longtemps, et M. Boussingault a confirmé récemment l'indestructibilité de l'oxyde de carbone par les végétaux. Ce serait là un argument pour soutenir que l'acide carbonique est décomposé en oxyde de carbone et en oxygène ; on a même cru, il y a quelques années, que les végétaux émettaient de l'oxyde de carbone, et nous avons insisté sur ce résultat dans un de nos précédents volumes [2] ; il semble toutefois que le fait soit inexact [3]. Mais la présence du glucose dans cer-

[1] Les deux manières de voir la décomposition de l'acide carbonique peuvent s'exprimer par les tableaux suivants :



[2] Voyez *Annuaire* de 1863 : *la Composition de l'atmosphère.*

[3] Dans ses expériences sur la décomposition de l'acide carbonique par les végétaux, M. Boussingault employait pour absorber l'oxygène provenant de la décomposition de l'acide carbonique, un mélange d'acide pyrogallique et de

tains organes végétaux et notamment dans les feuilles où s'accomplit la décomposition de l'acide carbonique vient encore appuyer l'hypothèse indiquée plus haut.

« Si l'on envisage la vie végétale dans son ensemble, dit M. Boussingault, on est convaincu que la feuille est la première étape des glucosides, que, plus ou moins modifiés, on trouve répartis dans les diverses parties de l'organisme ; que c'est la feuille qui les élabore aux dépens de l'acide carbonique et de l'eau. Dans le maïs, le froment, etc., l'accumulation des principes sucrés a lieu dans la tige jusqu'à l'époque à laquelle se manifeste la période de la floraison ; puis tout ce qui a été accumulé disparaît pour concourir à la formation de la graine. Dans la betterave, le réceptacle, c'est la racine. Mais, quand il n'y a ni tige ni racine, où se dépose la matière sucrée élaborée par la feuille? Dans la feuille elle-même, qui prend alors une extension considérable. L'exemple le plus frappant que je puisse présenter est l'agave américain, le maguey, la *vigne* des Mexicains, dont la culture s'étendait, du temps de Montézuma, aussi loin que la langue aztèque. Les feuilles de l'agave partent toutes du collet de la racine ; elles atteignent jusqu'à deux mètres de longueur, vingt centimètres de largeur et jusqu'à un décimètre d'épaisseur au point d'attache. Pendant quinze à vingt ans, ces feuilles élaborent et accumulent du glucose, jusqu'au moment où la hampe qui doit porter les fleurs et les fruits commence son évolution ; alors les feuilles, amples, coriaces, épineuses, après être restées pendant des années penchées vers la terre, se redressent et se rapprochent d'un bourgeon conique, comme pour le couvrir, le protéger. Il y

potasse, il reconnut dans le gaz restant après cette absorption une certaine quantité d'oxyde de carbone qu'il crut pouvoir attribuer à l'action décomposante des végétaux. M. Cloëz, en répétant les expériences de M. Boussingault, n'obtint pas de gaz oxyde de carbone ; un semblable désaccord entre deux expérimentateurs habiles serait fait pour étonner, si un chimiste de Manchester, qui a longtemps travaillé au Muséum d'histoire naturelle, M. Calvert, n'était venu l'expliquer. M. Calvert démontra que lorsqu'on fait réagir l'acide pyrogallique sur la potasse, on obtient une petite quantité d'oxyde de carbone. M. Boussingault avait au reste reconnu lui-même, postérieurement à la publication de son mémoire, la justesse de cette observation, d'où il semble résulter que les végétaux n'émettent pas d'oxyde de carbone, et que celui qu'on avait trouvé dans les expériences précédentes provenait, non d'une action physiologique, mais tout simplement de la réaction de la potasse sur l'acide pyrogallique employé dans les essais.

a là un mouvement graduel très-apparent, qui semble obéir à une volonté. Le bourgeon s'allonge avec une étonnante rapidité; bientôt il se forme une hampe de cinq à six mètres. C'est le travail de la reproduction de la graine qui s'accomplit, et c'est en l'empêchant que l'Indien se procure l'ample récolte de la séve sucrée avec laquelle, par la fermentation, il prépare le *pulqué*, sa boisson enivrante de prédilection. Un plant d'agave, dans les environs de Cholula, émet en quatre ou cinq mois près de un mètre cube de liquide sucré; après quoi, il meurt épuisé, comme il serait mort épuisé si l'on eût laissé la hampe se développer et porter des fleurs et des fruits. Un agave rend en quatre mois environ cent kilogrammes de glucose, que ses feuilles avaient préparé et conservé pendant des années. Quant à ce glucose, son origine n'est pas douteuse; il vient de l'acide carbonique et de l'eau décomposés par les feuilles[1]. »

II

ASSIMILATION DE L'HYDROGÈNE PAR LES VÉGÉTAUX.

Les végétaux renferment des principes qui ne peuvent être représentés par du carbone et de l'eau. — Matières grasses. — Résines. — Essences. — Décomposition de l'eau et fixation de l'hydrogène. — Th. de Saussure. — M. Boussingault.

Si le glucose, le sucre de canne, l'amidon, la fécule, la cellulose et un grand nombre d'autres principes analogues fournis par les végétaux peuvent être représentés par du carbone et de l'eau, les matières grasses si abondantes dans certaines graines et dans certains fruits, les résines qui découlent de la tige de quelques conifères, les essences qui parfument les fleurs et souvent les fruits n'ont plus une composition semblable; quelques-unes, comme les essences, ne sont formées que de charbon et d'hydrogène, et les autres ne renferment pas une quantité d'oxygène suffisante pour qu'il soit possible de les considérer comme des hydrates de carbone.

Si on admet que les végétaux forment leurs tissus non azotés presque exclusivement avec de l'acide carbonique et de l'eau, il

[1] *Comptes rendus*, t. LXI, p. 665, 1865.

faut en conclure que non-seulement l'acide carbonique est décomposé en ses éléments avec émission d'oxygène, mais que, suivant l'une des hypothèses présentées plus haut, l'eau elle-même prend part à la réaction.

Th. de Saussure, dont le nom revient toutes les fois qu'on aborde une question de physique végétale, a toutefois tenté en vain de constater la décomposition de l'eau par les plantes et a fini par nier absolument qu'elle eut lieu. Les expériences entreprises plus tard par M. Boussingault sont contraires à cette manière de voir ; il est arrivé, par deux méthodes complétement différentes, à montrer que l'eau était vraisemblablement décomposée par les végétaux. On sait que dans ses premiers travaux il fit plusieurs analyses élémentaires de plantes qui s'étaient développé dans du sable calciné ; en comparant la composition de la graine à celle de la récolte, on pouvait voir quels étaient les éléments assimilés ; or, sur cinq expériences portant sur le trèfle, le froment, les pois et l'avoine, il arriva quatre fois que la quantité d'hydrogène absorbé fut plus grande que celle qui était nécessaire pour former de l'eau avec l'oxygène assimilé ; si une plante, développée complétement, à l'abri des matières organiques, renferme de l'hydrogène en excès, on peut donc en conclure avec quelque certitude que les éléments de l'eau ont été désunis.

On trouve, au reste, une nouvelle preuve à l'appui de cette manière de voir dans les expériences de M. Boussingault sur la décomposition de l'acide carbonique par les végétaux, que nous avons citées plus haut. Sous l'influence de la lumière solaire, il est arrivé plusieurs fois, en effet, que le volume de l'oxygène dégagé, fut un peu plus grand que celui de l'acide carbonique disparu, ce qu'on ne peut guère expliquer qu'en admettant encore que l'eau a été décomposée en ses éléments.

Il faut reconnaître toutefois que la question est loin d'être encore complétement étudiée. Si on conçoit, en effet, que cette assimilation de l'hydrogène ait lieu par suite de la décomposition de l'eau accompagnant celle de l'acide carbonique en oxygène et en oxyde de carbone ; si on comprend qu'il ne se forme pas exclusivement dans cette réaction des hydrates de carbone, mais qu'il se produise en même temps des composés plus riches en hydrogène, cette première hypothèse manque cependant de bases certaines, et peut-être est-on plus près de la vérité en

admettant que dans les feuilles il se produit d'abord des glucoses par l'union de l'oxyde de carbone et de l'hydrogène, puis, qu'ensuite les glucoses éprouvent diverses modifications, qu'ils perdent de l'eau et donnent du sucre de canne, de l'amidon, de la fécule, qu'ils éprouvent enfin des réductions plus profondes et se métamorphosent en corps gras, en hydrogènes carbonés, en essences, que des oxydations ultérieures peuvent encore modifier. Ces produits hydrogénés ne proviendraient donc pas d'une véritable assimilation de l'hydrogène, mais d'une réaction opérée postérieurement à la fixation du carbone et des éléments de l'eau.

III

ABSORPTION DE L'AZOTE PAR LES PLANTES.

Existence de l'azote dans les végétaux. — Formes sous lesquelles l'azote peut être présenté aux plantes. — Absorption de l'azote à l'état de nitrate, à l'état de sel ammoniacal, à l'état de composé organique, à l'état d'azote libre. — Discussions — MM. Boussingault, Kuhlmann, Bouchardat, Cloëz, G. Ville, Lawes et Gilbert.

Il suffit d'avoir parcouru quelques cultures de betteraves pour apprécier l'effet remarquable que produisent les engrais azotés : ici les plantes sont vigoureuses, d'un vert foncé, les betteraves redressent leurs feuilles puissamment développées ; là, au contraire, où l'engrais a manqué, les plantes sont chétives, et les feuilles, d'un jaune pâle, s'inclinent vers la terre. — L'azote fait partie en effet d'un certain nombre de principes immédiats qui se rencontrent avec plus ou moins d'abondance dans les différentes parties des végétaux, et s'y accumulent jusqu'au moment où, la floraison arrivée, ils viennent se concentrer dans la graine.

De même que les plantes prennent leur carbone dans l'acide carbonique de notre atmosphère, il n'est pas douteux que l'azote, qui constitue les $\frac{4}{5}$ de l'air, ne soit la source où puisent les végétaux pour constituer leurs principes immédiats quaternaires ; mais, ce fait admis, il reste à déterminer la forme même, sous laquelle cet azote peut être absorbé.

La consommation considérable que l'agriculture fait aujourd'hui du nitrate de soude du Pérou pourrait être considérée comme un argument démontrant que les nitrates sont un des composés qui fournissait à la végétation l'azote nécessaire à son existence, si

les réductions qui se produisent fréquemment dans le sol ne faisaient prévoir la possibilité d'une transformation précédant l'assimilation : des expériences régulières étaient donc nécessaires pour démontrer que les nitrates peuvent être absorbés en nature. Les plus probantes ont été faites par M. Boussingault, qui a reconnu que des hélianthus semés dans du sable calciné amendé avec du nitrate de potasse et du phosphate de chaux, se sont développés d'une façon régulière, tandis que leur végétation était rabougrie et chétive lorsqu'ils ne recevaient que le phosphate ou que le sol de sable n'était pas amendé; le poids de la matière végétale élaborée s'était accru avec le poids d'azote contenu dans l'engrais, la plante renfermait une quantité de potasse qui correspondait à celle d'azote qui avait été assimilé, ce qui tendait à montrer que les deux éléments avaient été absorbés simultanément; enfin le sol étant absolument dépourvu de matières organiques, on avait là une série de preuves démontrant clairement que les azotates sont susceptibles de pénétrer dans les plantes sans subir une réduction préalable.

On conçoit facilement au reste que l'acide azotique soit réduit dans la plante comme l'acide carbonique lui-même et que l'azote provenant de cette décomposition puisse faire partie intégrante des tissus de la plante comme le carbone provenant de l'acide carbonique.

Si l'emploi des engrais ordinaires dans lesquels il existe des sels ammoniacaux, si l'usage de l'engrais flamand et des matières fécales, et enfin des sels ammoniacaux eux-mêmes, paraissaient démontrer sans réplique que ces matières sont d'un effet utile sur la végétation, des expériences dues à M. Bouchardat ont pendant quelque temps ébranlé cette opinion.

Ce savant avait cru pouvoir formuler ses conclusions d'une façon très-absolue; d'après lui, les dissolutions des sels ammoniacaux, non-seulement ne fournissent pas aux végétaux l'azote qu'ils s'assimilent, mais même lorsque ces dissolutions à un millième sont absorbées par les racines des plantes elles agissent comme des poisons énergiques. M. Bouchardat avait agi sur des plantes aquatiques, et il est probable que son opinion reste vraie dans les conditions où il s'est placé; toutefois, quand on agit sur des plantes terrestres et qu'on enfouit les sels ammoniacaux dans le sol, ils sont absorbés et les plantes bénéficient considérablement de leur emploi; des expériences entreprises dans du sable calciné,

où l'on ne pouvait supposer que des phénomènes d'oxydation transformant les sels ammoniacaux en nitrates eussent pu prendre naissance, ont encore démontré cette absorption facile et complète. On assure que l'absorption peut encore avoir lieu quand une petite quantité de gaz ammoniac ou de vapeur de sel ammoniacal se trouve répandu dans l'atmosphère, au moins M. G. Ville affirme-t-il avoir obtenu une végétation d'orchidées plus brillante en répandant dans la serre où elles se trouvaient quelques vapeurs ammoniacales.

On supposait autrefois que les plantes étaient susceptibles d'absorber les matières solubles plus ou moins complexes, qui existent dans le terreau et dans les fumiers. M. P. Thénard, qui a étudié avec grand soin tout ce qui est relatif aux matières qui se produisent dans les fumiers, a reconnu que l'acide azoté formé par l'action du gaz ammoniac sur le ligneux éprouvait, sous l'influence de l'air, diverses transformations qui l'amenait à l'état d'acide nitrique, de façon qu'on ne pourrait pas conclure de l'emploi des fumiers, que les plantes puisent leur azote dans les matières organiques complexes. Toutefois, des expériences récentes de M. G. Ville semblent établir que les sels ammoniacaux, et les nitrates ne sont pas les seules matières qui puissent fournir de l'azote aux plantes. Si, d'après le professeur du Muséum, on amende des sols avec des quantités de matières différentes, mais renfermant des poids d'azote égaux, on obtient des effets variables : favorables dans certains cas, ils sont nuls dans d'autres : ainsi l'urée, l'éthylamine, la méthylamine, ont agi comme l'ammoniaque, tandis que l'éthylurée n'a exercé aucune action sensible[1].

Ce fait est curieux ; il nous enseigne qu'il ne suffit pas qu'une matière azotée soit soluble pour que son azote soit employé par le végétal pour élaborer ses principes azotés, et l'on tire facilement du résultat de cet essai qu'il n'est pas certain *a priori* que l'azote de l'air pourra être absorbé directement. C'est la dernière question qui nous reste à étudier ; elle a suscité de nombreuses discussions et ne saurait aujourd'hui encore être regardée comme complétement éclaircie. Les plantes peuvent-elles puiser dans l'air l'azote

[1] Voyez sur la composition de ces matières l'*Annuaire* de 1865, la chimie à l'Exposition de Londres et l'*Annuaire* de 1866, le grand prix biennal.

qui s'y trouve à l'état gazeux, ou bien au contraire sont-elles incapables d'utiliser les masses de cette substance dans laquelle elles sont plongées, et faut-il que cet azote gazeux, source première des principes quaternaires organiques soit d'abord engagé en combinaison avec l'oxygène pour former l'acide azotique, ou l'hydrogène pour former l'ammoniaque avant de pénétrer dans l'organisme végétal? Telle est la question posée.

En suivant la méthode rigoureuse de l'analyse élémentaire, M. Boussingault avait cru pouvoir établir, d'après ses premières recherches, que si les céréales ne puisent pas d'azote dans l'air, les légumineuses, au contraire, peuvent s'emparer de cet élément, car, en analysant les récoltes de ces différentes espèces développées dans des sols stériles, on avait constaté que dans les unes l'azote de la récolte était en léger excès sur celui que renfermait la semence, tandis que, dans les autres, il y avait seulement égalité. — Si ces premiers résultats semblaient démontrer que les plantes puisent de l'azote dans l'air, on n'en pouvait conclure que l'azote *libre* avait été assimilé, car on n'avait pris aucune précaution pour préserver les plantes de l'influence des petites quantités de gaz ammoniac qu'on trouve toujours dans l'air atmosphérique. En recommençant une très-longue série d'essais dans lesquels les plantes furent arrosées avec de l'eau complétement exempte d'ammoniaque et maintenue dans des atmosphères où ce gaz ne pouvait pénétrer, M. Boussingault reconnut que les plantes ne s'assimilent jamais l'azote gazeux contenu dans l'air. Ses expériences, conduites avec un soin minutieux, semblaient devoir entraîner la conviction, quand elles furent contredites par M. Georges Ville.

D'après ce chimiste, les résultats de M. Boussingault n'étaient exacts que dans les conditions où il s'était placé, c'est-à-dire en faisant végéter des plantes dans un sol absolument stérile, où elles ne prennent jamais qu'un très-faible développement; mais il n'en serait plus ainsi si l'on fournissait à la jeune plante une quantité d'azote assimilable suffisante pour qu'elle pût commencer à se développer régulièrement. Une fois l'élan donné, la plante devenait capable d'absorber directement l'azote dans l'air.

Une commission, nommée en 1855 par l'Académie des sciences, fit répéter les expériences au Muséum d'histoire naturelle; les résultats furent favorables à l'opinion soutenue par M. G. Ville,

c'est-à-dire qu'on trouva plus d'azote dans la récolte qu'il n'y en avait dans les graines. Toutefois il fut difficile de tirer des expériences une conclusion absolue; on reconnut, en effet, que l'eau qui avait servi à arroser les plantes n'était pas complétement exempte d'ammoniaque, sans que cependant la quantité qui y était contenue fût suffisante pour expliquer le gain constaté.

Deux chimistes agronomes anglais, qui ont accumulé, sur toutes les questions agricoles que la chimie peut éclairer, des travaux considérables, MM. Lawes et Gilbert, essayèrent, en 1860, de décider entre MM. Boussingault et G. Ville; leurs résultats, favorables à l'opinion que l'azote gazeux n'est pas absorbé par les végétaux, ne démontra pas cependant complétement que cette assimilation n'a pas lieu, car les récoltes obtenues dépassent à peine quatre ou cinq fois la semence, et restent par conséquent dans ces limites où, d'après M. G. Ville, la plante n'est pas encore assez vigoureuse pour puiser sa nourriture dans l'azote libre de l'atmosphère.

On ne pourrait toutefois adopter l'opinion de M. G. Ville qu'autant que plusieurs savants auront obtenu des résultats semblables aux siens, et, bien qu'en général M. Boussingault n'ait donné aux plantes qu'il cultivait dans du sable calciné que des quantités de matières azotées assimilables trop faibles pour se placer dans les conditions qui, d'après M. G. Ville, sont favorables à cette assimilation, on trouve, dans les expériences du savant professeur du Conservatoire, quelques cas dans lesquels ces conditions sont remplies sans que l'absorption de l'azote atmosphérique ait eu lieu.

Au reste ce n'est pas seulement dans les travaux qui lui sont personnels, que M. G. Ville puise des arguments, il en trouve encore dans les recherches mêmes de M. Boussingault. Dans plusieurs de ses expériences, M. Boussingault a employé comme engrais des graines tuées par l'ébullition avec l'eau, et il a trouvé que les plantes récoltées renfermaient presqu'autant d'azote qu'il y en avait dans l'engrais lui-même. C'est là, d'après M. G. Ville une preuve de l'absorption de l'azote gazeux; car toute la matière azotée des graines mortes est loin de se transformer en ammoniaque; une partie se dégage à l'état d'azote libre, et, comme la matière azotée de la récolte égale celle qui se trouvait dans l'engrais, il faut qu'une partie ait été élaborée à l'aide de l'azote pur.

En additionnant les matières azotées fournies par les agents atmosphériques et par les engrais, en comparant leur teneur en azote à celles qu'accusent les récoltes développées sous leur influence, on trouve dans celles-ci un surcroît qu'il est naturel d'attribuer à l'azote atmosphérique. Mais ici encore il faut distinguer, et rien ne prouve que cet azote ait été assimilé par la plante sans avoir d'abord été engagé en combinaison avec l'oxygène ; il n'y aurait, certainement, rien d'extraordinaire que l'oxygène naissant émis par la plante, au moment où l'acide carbonique est dégagé, ne produisît avec l'azote dissous dans la séve même une certaine quantité d'acide azotique, qui serait ensuite amené à former de la matière végétale azotée comme l'acide azotique des azotates.

Mais la possibilité d'une semblable réaction ne démontre pas son existence, et si l'azote et l'oxygène peuvent s'unir dans la plante, ils peuvent s'unir aussi dans le sol sous l'influence des corps poreux et former à chaque instant des nitrates dont on ne déterminera que très-incomplétement la proportion par l'analyse de la terre arable, car leur formation, au moyen des masses de matières organiques qu'elle renferme, est en quelque sorte continue.

On comprend, au reste, qu'on ait une grande répugnance à admettre que l'azote libre puisse pénétrer dans une combinaison organique complexe; les nombreuses expériences de synthèse exécutées par M. Berthelot dans ces dernières années, nous ont montré que les réactions qui se produisent dans les êtres vivants, ne s'accomplissent pas en dehors des lois ordinaires de la chimie, or, nous n'arrivons jamais dans le laboratoire à fixer de l'azote qu'en le prenant sous forme d'acide azotique ou d'ammoniaque ; les expériences synthétiques de M. Thénard sur la formation des matières noires des fumiers ont encore démontré avec quelle facilité l'ammoniaque se combinaient aux matières organiques ; de telle sorte que les probabilités sont pour l'assimilation de l'azote à l'état de combinaisons azotées et non à l'état libre. Remarquons, au reste, que MM. Boussingault et G. Ville se trouveraient d'accord s'il était possible de démontrer que c'est seulement quand la plante est vigoureuse, quand elle a reçu une certaine quantité de matière azotée directement assimilable qu'elle est capable de produire de l'oxygène naissant qui, uni à l'azote dans la feuille même, formerait de l'acide azotique.

En résumé cette question est loin d'être encore complétement éclaircie, et l'esprit reste indécis entre les deux opinions qui ont été émises. L'exactitude avec laquelle M. Boussingault opère habituellement, le nombre de ses expériences, sont de nature à maintenir l'opinion de son côté, bien que les essais variés de M. G. Ville, et le surcroît des matières azotées contenues dans les récoltes sur l'azote des engrais, tendent à faire croire, d'autre part, que, dans certains cas, l'azote atmosphérique peut, après s'être uni, sans doute, dans le sol ou dans la plante même à l'oxygène, pénétrer et se fixer dans l'organisme végétal[1].

IV

ASSIMILATION DES PRINCIPES MINÉRAUX.

Importance des principes minéraux. — Toutes les plantes développées sur le même terrain ne renferment pas les mêmes principes minéraux. — Elles font un choix parmi les substances solubles que ce terrain renferme. — État des principes minéraux dans les plantes. — Ils peuvent y être combinés, retenus par l'affinité capillaire ou simplement déposés par évaporation. — Accumulation d'un principe minéral par suite de sa combinaison avec les principes immédiats. — Accumulation des phosphates. — Accumulation de la chaux dans les plantes qui sécrètent de l'acide oxalique. — Accumulation de la silice. — Expériences avec les vases poreux. — La force de diffusion et la force de combinaison suffisent à expliquer l'accumulation des principes combinés. — Accumulation des principes minéraux dus à la diffusion et à l'affinité capillaires. — Anciennes expériences de Th. de Saussure. — Accumulation des principes minéraux dus à l'évaporation. — Abondance de la silice et du carbonate de chaux dans les feuilles.

On sait, depuis un temps immémorial, que les végétaux laissent, lorsqu'on les calcine, des parties fixes, des cendres, dont le poids est très-faible par rapport à la masse incinérée ; l'analyse de ces cendres démontra bientôt que leur composition n'était pas constante, et que deux végétaux, provenant du même sol, donnaient des cendres très-différentes ; on reconnut, en revanche, que les parties fixes d'une même espèce végétale étaient toujours identiques ou ne variaient au moins que dans de faibles proportions ; ainsi, qu'on récolte sur le même sol du trèfle et du froment, qu'on incinère une certaine quantité de ces deux plantes, et les cendres accuseront des compositions différentes ; le trèfle renfermera surtout de la chaux et de la potasse ; le froment, de la silice dans la paille, des phosphates dans la graine. Mais, d'autre part, qu'on compare la com-

[1] Voyez dans la *Revue des cours scientifiques*, un très-bon résumé des leçons de M. G. Ville.

position de variétés de froment provenant de régions très-éloignées les unes des autres, et on reconnaîtra que toujours les pailles renfermeront des quantités très-considérables de silice, tandis que les grains seront riches en phosphates. Ces faits auraient déjà pu indiquer que les principes minéraux présentent une importance considérable pour l'économie végétale ; mais des preuves synthétiques vinrent bientôt appuyer cette opinion et démontrer que les phosphates, les sels de potasse, ne sont pas moins nécessaires au complet développement des végétaux que les matières azotées et carbonées, qui doivent former leurs tissus mêmes. En cultivant des plantes dans des sols absolument stériles, on obtient des végétaux chétifs et malingres. Ils ne prennent encore qu'un développement médiocre quand on amende le sol qui les porte avec des matières azotées seules; mais, au contraire, ils acquièrent un accroissement normal quand des matières minérales convenables, et notamment des phosphates, sont ajoutés à ces matières azotées.

Ainsi les plantes ont besoin pour se développer de principes minéraux, et de plus, elles savent choisir dans le sol ceux de ces principes minéraux qui leur conviennent. Elles ne prennent pas indifféremment tout ce qu'elles rencontrent ; le fait est particulièrement évident pour les végétaux marins, et les cendres qu'ils laissent, présentent une composition très-différente de celle de l'eau de mer. Les sels qui existent dans l'Océan, sont bien certainement les seuls qu'on rencontre dans les plantes marines, mais ils n'y sont pas distribués de la même façon.

Comment les végétaux peuvent-ils ainsi *choisir* leurs parties fixes; quel est le mécanisme de cette absorption élective des principes minéraux? C'est là une belle question de physique végétale, que nous avons étudiée pendant deux années, et sur laquelle nous avons émis quelques idées[1] que nous allons présenter au lecteur.

Le premier point qu'on résolut d'éclaircir en abordant ces recherches, fut de déterminer l'état dans lequel se rencontrent les principes minéraux dans les plantes ; plusieurs faits bien connus démontraient d'abord qu'ils peuvent se trouver en combinaison avec les matières sécrétées par les végétaux : dans les cactus, dans les oseilles, dans les baies de sorbier, on rencontre la chaux ou la

[1] Mémoire manuscrit couronné par l'Académie des sciences.

potasse combinées aux acides organiques, notamment à l'acide oxalique et à l'acide malique. En soumettant divers tissus à l'action des réactifs faibles, on arriva bientôt à se convaincre que les principes neutres pouvaient également retenir en combinaison les matières minérales ; on sait que la silice qui n'a pas subi l'action du feu, est facilement soluble dans les lessives alcalines faibles, en attaquant les feuilles d'un grand nombre d'arbres ou d'arbustes par une dissolution de soude, on trouva, en effet, que toute la silice se dissolvait facilement, mais en opérant de la même façon sur de la fougère, ou sur des pailles de céréales, on n'obtint plus les mêmes résultats : la silice au contraire persistait dans les tissus et n'était plus dissoute par la lessive alcaline.

Toutes les graines renferment des qualités notables de phosphates, et on a remarqué depuis longtemps qu'ils accompagnent les matières azotées, de telle sorte que, lorsque l'une des deux matières augmente dans un organe, l'autre s'accroît également, aussi plusieurs chimistes ont-ils émis l'opinion que les phosphates et les principes azotés doivent former une sorte de combinaison. Pour le vérifier on essaya de soumettre des farines de froment, d'avoine, d'orge, de pois, de haricots, à l'action de l'eau et à celle de l'acide chlorhydrique étendu. Les phosphates alcalins sont solubles dans l'eau et tous les autres phosphates se dissolvent facilement dans les acides faibles. Si donc on trouvait dans les farines qui avaient subi ces traitements une certaine quantité de phosphates, on en pouvait conclure qu'ils devaient être retenus par les tissus qui les renfermaient, et notamment par les matières azotées, puisqu'on trouvait toujours les deux principes associés. L'expérience confirma ces vues *a priori*, et dans un grand nombre d'essais, on reconnut que des farines lavées à différentes reprises à l'eau distillée ou à l'acide chlorhydrique étendu, renfermaient encore des phosphates.

Quand on soumet des végétaux marins, préalablement coupés en petits fragments, à l'action de l'eau bouillante, on enlève parfois des quantités égales des différents principes minéraux qui s'y trouvent, c'est-à-dire que la composition des cendres des végétaux lavés et des végétaux à l'état normal est à peu près semblable, tandis que dans d'autres cas, au contraire, certains éléments sont enlevés beaucoup plus facilement que d'autres. En lavant, par exemple, le *fucus siliquosus*, on remarque que les sulfates et les

chlorures se trouvent à peu près dans le même rapport après et avant le lavage, tandis qu'en opérant de la même façon sur le *fucus serratus*, on reconnut que l'eau enlevait tous les chlorures et laissait tous les sulfates.

On tire de ces faits deux conclusions importantes sur l'état auquel se trouvent les principes minéraux. Dans le cas où les sulfates solubles étaient retenus par le tissu, il fallait admettre une combinaison ; dans le cas, au contraire, où sulfates et chlorures cédaient également à l'action de l'eau, on ne pouvait plus croire à une attraction assez forte pour mériter le nom de combinaison ; mais cette attraction affaiblie, il est vrai, existait encore, puisque ces principes ne cédaient pas complétement à l'eau les sels solubles qu'ils renfermaient. Nous désignerons, avec M. Chevreul, par le nom d'affinité capillaire, cette force qui maintient les sels unis aux principes immédiats.

Les faits précédents n'ont rien qui doive nous surprendre, et nous connaissons dans l'art de la teinture des combinaisons d'énergie variable, analogues à celles que nous venons de citer. Chacun sait, par exemple, qu'un tissu plongé dans une matière colorante, peut la retenir d'abord en certaine proportion, mais finit cependant par l'abandonner à l'eau, si les lavages sont suffisamment multipliés ; ce sera là un cas d'affinité capillaire analogue à celui qui maintient les sulfates et les chlorures unis à la matière végétale dans le fucus siliquosus. Mais qu'on commence par plonger le tissu qu'il s'agit de teindre dans un bain de mordants, d'alun, par exemple, et la matière colorante sera fixée ensuite avec assez d'énergie pour qu'on puisse croire à une véritable combinaison. Ainsi nous ne devons pas plus nous étonner de rencontrer dans les plantes des combinaisons de matières minérales et de principes végétaux, que nous ne nous étonnons d'arriver à fixer des matières minérales comme l'alun ou le protochlorure d'étain sur une étoffe d'origine végétale, que nous ne nous étonnons encore d'obtenir une combinaison d'une matière colorante organique avec ces sels eux-mêmes.

Nous avons dit plus haut que les lessives alcalines étendues pouvaient enlever complétement la silice contenue dans les feuilles d'un grand nombre de plantes, l'acide chlorhydrique étendu dissout aussi très-facilement le carbonate de chaux que ces feuilles renferment, et dans ce cas il paraît probable que ces principes mi-

néraux sont simplement déposés dans ces organes, par l'évaporation de l'eau chargée d'acide carbonique qui les y a amenés.

Ainsi, en résumé, nous pouvons trouver dans les plantes des principes minéraux à trois états différents, en combinaison, retenus par simple affinité capillaire, ou enfin, déposés par évaporation. Ces faits établis, il nous reste à examiner comment ces matières s'accumulent dans les tissus, comment les plantes exécutent les choix que l'analyse de leur cendre nous démontre avoir lieu.

Pour faire comprendre aisément le mécanisme de cette accumulation, nous devons d'abord rappeler quelques-uns des faits que nous avons établis, en nous appuyant sur les expériences de diffusion dues à M. Th. Graham. On sait que ce savant a démontré que si, au fond d'une éprouvette étroite remplie d'eau, on déposait une dissolution concentrée d'un sel soluble, celui-ci finissait par se répandre dans toute la masse; les molécules salines sont donc animées d'un mouvement de transport tout à fait indépendant du mouvement du liquide lui-même, et tendent à se répandre dans tout le liquide comme un gaz se répand dans tout l'espace qui s'offre à lui.

Une paroi poreuse n'oppose qu'une très-faible résistance à cette diffusion ; on peut s'en assurer par l'expérience suivante : dans un vase de verre renfermant une dissolution saline, on immerge un vase poreux semblable à celui qu'on emploie dans la pile de Bunsen. Ce vase renferme de l'eau distillée, et le niveau du liquide est le même des deux côtés de la paroi ; il n'y a par conséquent aucun transport de liquide et cependant l'analyse démontre que le sel se diffuse au travers de la paroi poreuse, et après quelques jours, si on emploie des dissolutions étendues, on trouve que des quantités égales d'eau prises dans le vase poreux ou en dehors, renferment des quantités de sels semblables ; l'équilibre s'est établi.

La présence d'un sel dans l'eau du vase poreux s'oppose à la diffusion du même sel, mais n'apporte qu'un très-faible obstacle à la diffusion d'un sel d'une autre nature. Supposons, pour préciser les idées, que nous ayons placé une dissolution de chlorure de potassium dans le vase de verre et dans le vase poreux, cette dissolution présente des deux côtés de la paroi poreuse la même concentration, et par suite, il ne se fait aucun mouvement de sel d'un vase vers l'autre. On ajoute alors dans le vase extérieur une certaine quantité de sulfate de soude solide : celui-ci se dissout et

bientôt chemine au travers de la paroi poreuse, et pénètre dans le vase intérieur.

Plaçons maintenant dans le vase extérieur un mélange de deux sels, et, par un moyen quelconque, amenons l'un des deux à l'état insoluble, aussitôt qu'il aura pénétré dans le vase poreux; nous prévoyons facilement ce qui arrivera : les deux sels pénètrent d'abord dans l'eau du vase poreux en quantités que nous supposons égales, et après quelques jours l'eau intérieure se trouve avoir une concentration semblable à l'eau extérieure, si aucune cause perturbatrice n'intervient; mais nous supposons au contraire que l'un des deux sels est amené à l'état insoluble, l'eau intérieure est donc débarrassée de ce sel et dès lors la diffusion en entraîne dans le vase poreux une nouvelle proportion pour remplacer celui qui a disparu; une nouvelle précipitation sera bientôt suivie d'un nouvel afflux destiné à établir l'équilibre toujours détruit. L'un des deux sels appelé par ces précipitations successives entrera donc dans le vase poreux à différentes reprises, et l'expérience terminée, on l'y trouvera en plus forte proportion que le sel non précipité qui a cessé de pénétrer dans l'eau intérieure aussitôt qu'elle a été chargé au même degré que l'eau extérieure.

Cette expérience va nous permettre d'expliquer facilement l'accumulation des principes minéraux qui sont fixés en combinaison par les matières végétales. Nous avons vu que, dans le fucus serratus, les sulfates sont retenus à l'état insoluble, tandis que les chlorures sont facilement enlevés par l'eau. Or nous pouvons comparer la mince pellicule qui recouvre les tissus de la plante à la paroi poreuse de notre vase de porcelaine dégourdie et admettre qu'il y aura diffusion des sels contenus dans l'eau de la mer au travers de cette paroi, comme il y avait diffusion des sels de la dissolution extérieure dans l'eau du vase poreux. Les tissus du fucus vont dès lors exercer leur action sur ces sels; les sulfates se combinent, solidifiés par cette union, ils sont soustraits à la dissolution, comme l'était le sel précipité dans l'expérience précédente, et par suite une nouvelle quantité de sulfate pénétrera par diffusion dans l'eau qui gorge le tissu, tandis que le chlorure non combiné se trouvant au même degré de concentration dans l'eau de la mer et dans le liquide de la plante n'y pénétrera pas de nouveau. On comprend donc que, bien qu'il y ait dans l'eau de

mer plus de chlorures que de sulfates, les sulfates puissent s'accumuler dans le fucus en plus grande quantité que les chlorures.

L'accumulation des principes minéraux dans les plantes terrestres peut être expliqué par un mécanisme analogue. Supposons qu'un grain de froment germe; que l'amidon, d'abord liquéfié et transformé en dextrine, éprouve une dernière transformation isomérique et devienne cellulose, celle-ci possède pour la silice une certaine affinité et peut, comme nous l'avons vu, la rendre insoluble. Si donc une dissolution complexe pénètre par endosmose dans le jeune tissu, la silice qu'elle renferme va être solidifiée, probablement au moment même où le tissu se formera; dès lors la séve, que nous pouvons comparer à la dissolution placée dans l'intérieur de notre vase poreux, va être appauvrie de silice, et l'eau extérieure devra en envoyer une nouvelle quantité. Certainement, en même temps que la silice, il est entré avec l'eau diverses matières salines, mais celles-ci restent en dissolution dans la séve, s'y trouvent en quantités égales ou plus grandes que dans le sol, puisque l'eau de la séve s'évapore constamment et par suite repoussent les molécules semblables qui, dès lors, ne pourront s'accumuler dans la plante comme le fait la silice. Cette conséquence découle encore de l'expérience citée plus haut.

Toutefois une objection grave peut être faite à cette manière de voir. Nous étendons à une plante fixée dans la terre par ses racines, les résultats obtenus avec des dissolutions, l'assimilation est-elle possible? Pour être convaincu, on n'a qu'à rappeler un des faits constatés par M. Th. Graham, dans ses mémorables travaux sur la diffusion. D'après le savant chimiste anglais, la diffusion a lieu aussi bien, dans un milieu gélatineux humide, que dans l'eau elle-même. Plaçons, comme il l'a fait, dans une éprouvette étroite, une gelée d'amidon, puis déposons au fond une dissolution colorée; nous verrons cette dissolution monter dans l'amidon et le colorer peu à peu, dans toute autre matière gélatineuse, la dissolution eût cheminé de même, et on est en droit d'affirmer que les sels se répandent encore avec la même facilité dans un sol argileux.

L'analyse complète de la diffusion dans le sol arable exigerait plus d'espace que nous n'en pouvons donner ici. Il est bien certain que tous les sels ne se diffuseront pas avec la même facilité dans tous les sols ; quelques-uns rencontreront dans leur

nature *colloïdale* un obstacle à leur passage au travers de la terre argileuse, tandis que les autres se diffuseront plus facilement ; mais nous ne voulons qu'esquisser ici l'ensemble du phénomène[1].

L'absorption des phosphates pourra être expliquée de la même façon. On rencontre ces sels dans tous les organes riches en matières azotées, nous savons que les phosphates sont maintenus dans les tissus à l'état insoluble, et nous comprenons qu'il y ait diffusion de ces phosphates au travers de la terre arable jusque dans la plante où ils s'unissent aux matières azotées pour former une combinaison qui se sépare du liquide ; la séve se trouve donc appauvrie de phosphates, et bientôt une nouvelle quantité de ces sels chemine du sol vers le liquide qui gorge la plante, pour rétablir un équilibre qui, sans cesse rompu par la combinaison des phosphates avec les matières azotées, tendra sans cesse à se rétablir. Il y aura donc accumulation des phosphates au détriment des autres substances minérales, incapables de former avec les matières azotées ou les autres tissus de la plante des combinaisons insolubles. L'accumulation de la chaux dans les végétaux qui secrètent de l'acide oxalique s'expliquerait de la même façon ; elle serait due encore à l'insolubilité de l'oxalate de chaux.

Tel est, d'après nous, le mécanisme de l'absorption des matières minérales déterminée par leur combinaison avec les principes immédiats des végétaux. On rencontre encore ici une objection

[1] Dans ses études sur la diffusion, M. Th. Graham a été conduit à diviser tous les corps en deux grandes classes, les matières colloïdales et les matières cristallines ; les matières colloïdales, la gomme, la gélatine etc., ne se diffusent que difficilement, les cristalloïdes, au contraire, les sels, le sucre, etc., se diffusent facilement, de plus, tandis que les cristalloïdes se diffusent aussi bien au travers des colloïdes qu'au travers de l'eau pure ; les colloïdes au contraire opposent un obstacle à la diffusion d'autres colloïdes ; la silice en gelée dissoute dans l'acide carbonique pourrait être considérée comme un colloïde, et d'après cela on pourrait voir dans cette propriété un obstacle à sa diffusion dans le sol ; mais il est probable que les dissolutions très-étendues, comme celles qu'on rencontre dans le sol, ne sont pas arrêtées d'une façon complète ; on sait, en effet, que si une terre argileuse retient les sels ammoniacaux en quantité considérable, elle ne dépouille pas l'eau complétement de son ammoniaque, et il est probable que la silice en dissolution très-étendue circule dans la terre arable comme l'ammoniaque elle-même. Voyez sur la diffusion, l'article l'*Absorption et la Sécrétion des êtres vivants*, Annuaire de 1864.

qu'il importe de lever : nous attribuons l'accumulation des phosphates à leur combinaison avec les matières azotées, et il n'y a, dans cette opinion, rien de contraire aux idées reçues ; mais nous attribuons de même l'accumulation de la silice dans les graminées à sa combinaison avec la cellulose, et on peut se demander pourquoi tous les végétaux ne renferment pas de la silice, puisque tous renferment de la cellulose. Cette objection serait sérieuse s'il était démontré que le squelette de toutes les plantes est formée par la même variété de cellulose ; mais cette opinion n'est plus soutenable, aujourd'hui que M. Fremy a reconnu que les tissus des végétaux sont constitués par des matières isomériques, mais non identiques, et très-diversement attaquées par un réactif précieux obtenu en dissolvant du cuivre dans l'ammoniaque.

Il nous paraît donc probable que si les graminées se chargent de silice tandis que les légumineuses n'en prennent pas, cette différence est due à l'existence dans les premières d'une cellulose capable de se combiner avec la silice tandis que la cellulose des légumineuses isomère, mais non identique à la précédente, ne peut contracter une union semblable.

Nous avons indiqué plus haut que les matières minérales sont parfois retenues dans les végétaux par simple affinité capillaire : le fucus siliquosus qui renferme des sulfates et des chlorures, susceptibles d'être enlevés en quantités égales par des lavages multipliés, nous a offert un exemple de cette union instable ; nous savons encore que les iodures s'accumulent dans les végétaux marins, ils y sont en plus grande proportion que dans les eaux de la mer, et ne paraissent pas être cependant engagés en combinaison, car ils sont facilement extraits par des lavages répétés. Ici les considérations précédentes sont insuffisantes. Comment expliquer que les chlorures, les sulfates, les iodures n'étant pas unis à la fibre végétale, se rencontrent cependant dans la plante en toute autre proportion que dans l'eau de mer? Comment expliquer encore les expériences célèbres de Th. de Saussure, dans lesquelles deux plantes aquatiques plongées dans des dissolutions salines, simples ou complexes, ont choisi certaines matières en proportion beaucoup plus fortes que certaines autres?

Les résultats obtenus par M. Th. Graham dans ses *Études sur la diffusion des sels* démontrent que cette diffusion n'est pas iden-

tique pour tous les sels, mais qu'au contraire, quelques-uns d'entre eux sont susceptibles de se répandre dans un liquide avec plus de rapidité que quelques autres ; et je pensai que peut-être il y avait là l'explication des choix qu'exécutent les plantes qui vivent dans les dissolutions salines, choix constatés par les célèbres expériences de Th. de Saussure, constatés encore par la composition des cendres des végétaux dans lesquels il était impossible cependant de reconnaître de véritables unions entre les matières minérales et les tissus.

On commença donc une longue série d'essais pour déterminer avec quelle vitesse un sel placé en dissolution dans un vase de verre pénétrait dans un vase poreux, renfermant tantôt de l'eau distillée, tantôt du kaolin ; une série d'expériences étant disposée, on déterminait après 24 heures qu'elle était la quantité de sel restant dans un volume déterminé de la liqueur extérieure, et on en pouvait conclure avec quelle énergie avait eu lieu la diffusion ; on reconnut bientôt que cette diffusion était éminemment variable : elle variait avec la nature du sel, avec la concentration de la dissolution, avec la nature de la paroi poreuse au travers de laquelle elle devait avoir lieu. Ces résultats éclairent déjà singulièrement la question ; ils démontrent que les vases poreux exécutent des choix comme les plantes elles-mêmes ; ils excluent dès lors toute idée d'une intervention de la force vitale dans l'accomplissement de ce phénomène, et l'idée exprimée un peu vaguement par Th. de Saussure sur la cause de ces absorptions électives reçoit ainsi une importante sanction [1].

Bientôt l'influence dominante de la diffusion dans l'absorption élective des principes solubles devint encore plus évidente quand un de nos amis nous signala la publication d'un travail terminé récemment en Allemagne par un naturaliste habile, M. G. Wolf ; ce savant avait fait végéter des haricots d'Espagne et du maïs dans des dissolutions salines étendues et avait déterminé par de nombreux dosages l'absorption de chacun des sels employés, il avait enfin formulé, sous forme de conclusions nettes et précises, les résultats

[1] « Je serais porté à admettre que la plante en absorbant une substance préférablement à une autre dans le même liquide ne produit presque point cet effet en vertu d'une sorte d'affinité ; mais en raison du degré de fluidité ou de viscosité des différentes substances. » Th. de Saussure, *Recherches chimiques sur la végétation*, p. 257.

de ses travaux; il nous fut facile de traduire graphiquement ses résultats par des courbes dont les inflexions indiquaient la marche de l'absorption de différents sels par la même plante; or, en comparant les résultats obtenus à l'aide des vases poreux à ceux que les plantes avait fourni à M. Wolf, il devint facile de constater que les courbes présentaient des allures tout à fait semblables et que les causes qui avaient déterminé l'absorption dans l'un des cas devaient l'avoir aussi déterminé dans l'autre.

Si donc on rencontre dans les végétaux marins les sulfates et les chlorures en proportions différentes de celles qu'ils présentent dans l'Océan, si les iodures sont de même en plus forte proportion dans les plantes marines que dans les eaux de la mer, on peut attribuer ces résultats à la puissance de diffusion plus grandes pour les iodures et les sulfates que pour les chlorures : cette force de diffusion variant d'un vase poreux à l'autre peut aussi varier d'une plante à l'autre, et on ne sera pas plus étonné de voir le maïs et le haricot d'Espagne présenter des différences d'absorption dans les expériences de M. Wolf, qu'un vase de Bunsen et un creuset de Paris absorbe les sels en quantités différentes dans nos propres essais.

Nous avons dit enfin qu'on rencontrait dans les feuilles, dans les écorces, des matières qui paraissaient s'y être accumulées par suite de l'évaporation de l'acide carbonique qui avait favorisé leur dissolution; c'est ainsi qu'on reconnaît dans ces organes du carbonate de chaux, de la silice, et, dans le jeune âge, du phosphate de chaux; de plus le poids des cendres va en augmentant dans les feuilles à mesure qu'elles vieillissent, et cette augmentation porte surtout sur le carbonate de chaux et la silice, car le phosphate de chaux au contraire disparaît peu à peu. Nous indiquerons la cause de ce dernier fait un peu plus loin ; quant à l'accumulation des deux matières précédentes, solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique et insolubles dans l'eau pure, elle est singulièrement éclairée par l'expérience suivante.

On place dans un vase de verre une dissolution de sel marin et de bicarbonate de chaux, puis on dispose sur le bord du vase une série de bandelettes de tulle qui plongent en partie dans le liquide, tandis que l'autre partie, au contraire, est exposée à l'action de l'air. Le liquide monte par capillarité dans le tulle et s'évapore, l'acide carbonique se dégage et le carbonate de chaux se dépose; le liquide

qui imbibe la partie supérieure de la bandelette se trouve donc bientôt appauvri de bicarbonate de chaux, tandis que le sel marin y persiste et s'y trouve même bientôt en dissolution plus concentrée que dans le vase lui-même; dès lors les lois de la diffusion déterminent un mouvement du bicarbonate de chaux vers les bandelettes de tulle à l'exclusion du sel marin. L'expérience enseigne en effet que l'eau du vase a perdu, après six heures, 62 pour 100 de bicarbonate de chaux, et 27 pour 100 de sel marin. On nous permettra d'insister sur cette expérience, dans laquelle le mouvement du liquide vers la surface évaporatoire et le mouvement des sels eux-mêmes se combinent pour donner un résultat analogue à ceux que nous observons dans les végétaux.

On voit que si le liquide tend à monter peu à peu dans les bandes de tulle par capillarité pour remplacer le liquide évaporé, le bicarbonate de chaux et le sel marin s'acheminent en même temps que le liquide vers la surface évaporatoire, mais avec des vitesses différentes ; le bicarbonate de chaux, entraîné par la force de diffusion qui tend à établir dans toutes les parties d'un liquide la même composition, chemine plus rapidement que le liquide lui-même pour venir à chaque instant remplacer le sel qui a été précipité par l'évaporation de l'acide carbonique. On se fera une idée exacte de ce mouvement du sel se superposant au mouvement du liquide en le comparant à un bâtiment qui se déplace dans le sens du courant d'une rivière, mais qui dépasse la vitesse de ce courant.

Cette expérience nous permet de comprendre comment dans les feuilles s'accumulent les substances minérales solubles dans l'eau chargée d'acide carbonique et insolubles dans l'eau pure. Un végétal est gorgé de liquide et les phénomènes de diffusion doivent se produire dans toute sa masse. Si donc il puise dans le sol où il végète de l'eau chargée de carbonate et de silice, cette eau va se répandre dans tout l'organisme, puis, arrivée aux organes d'évaporation, aux feuilles, elle va abandonner son acide carbonique; la silice et le carbonate de chaux se déposeront avant que tout le liquide ne soit évaporé ; le liquide appauvri de ces deux matières, conservera au contraire en dissolution les autres substances solubles dans l'eau pure, et on conçoit que ce qui est arrivé dans l'expérience précédente avec le sel marin et le bicarbonate de chaux se reproduise dans les feuilles mêmes qui vont s'enrichir

de carbonate de chaux et de silice, et cela d'autant plus qu'elles auront plus longtemps fonctionné comme appareil d'évaporation, c'est-à-dire qu'elles seront plus anciennes.

Ainsi les lois de la diffusion établies par nos expériences sur les vases poreux nous permettent de rendre compte aussi bien du choix exécuté par la plante dans les substances solubles contenues dans le sol arable, que de l'accumulation de certains principes dans un organe déterminé. Aussitôt qu'il est démontré que les molécules d'une dissolution ne sont en équilibre qu'autant qu'elles sont également distribuées dans toute la masse, on comprend qu'il y ait transport du bicarbonate de chaux ou de la silice contenue dans la séve vers les feuilles, parce que dans les feuilles ces matières sont précipitées, rendues insolubles par le dégagement de l'acide carbonique qui les maintenait en dissolution. On comprend encore que d'autres matières simplement solubles dans l'eau, ne s'y accumulent pas, parce que celles qui y ont pénétré y sont, par suite de l'évaporation d'une partie de l'eau, en dissolution plus concentrée que dans le reste de la séve. Le départ entre les substances solubles dans l'eau pure et solubles dans l'acide carbonique est particulièrement sensible dans les arbres, dont l'écorce est plus riche en carbonate de chaux et le bois en sels de potasse.

Les lois de la diffusion nous permettent enfin d'expliquer encore un fait toujours observé par Th. de Saussure dans ses expériences, à savoir que les plantes qu'il avait placé dans diverses dissolutions salines absorbaient plus d'eau que de sel ; en d'autres termes, que la dissolution se concentrait sous l'influence des plantes qui y plongeaient leur racines. Les sels employés par de Saussure ne formaient avec les tissus aucunes combinaisons, ils restaient donc en dissolution dans la séve, mais celle-ci perdait de l'eau à chaque instant par l'évaporation, bientôt elle se trouvait chargée d'autant de sel que la dissolution et par suite le sel n'y pouvait entrer, l'eau au contraire continuait d'être attirée par le vide formé par l'évaporation, mais ne pénétrait plus dans la plante qu'en abandonnant le sel qu'elle tenait en dissolution. Nous avons observé des effets tout à fait analogues en plaçant dans nos vases de Bunsen du kaolin, il arrivait souvent qu'après quelques jours l'eau du vase extérieur était plus riche en sels qu'au commencement de l'expérience.

Si les phénomènes physiques ont ainsi un rôle capital dans

l'absorption des substances minérales par les plantes, il est quelques points cependant, où une autre force, dépendante de la vie semble intervenir.

Nous avons vu plus haut qu'on trouvait dans les jeunes feuilles du phosphate de chaux, mais que ce sel disparaissait dans les feuilles plus âgées. Il se produit, en effet, dans tout l'organisme, au moment où la fructification a lieu, un mouvement des phosphates et des matières azotées vers la graine où ils s'accumulent peu à peu. Si les lois de la diffusion nous ont permis d'expliquer les faits précédents, elles ne nous fournissent plus ici aucune lumière. Il faut bien se rappeler au reste que bien que les végétaux et les animaux soient soumis aux forces physiques, bien que les lois qui régissent la matière non organisée s'appliquent aussi à la matière vivante et qu'une partie des phénomènes qui se produisent dans l'organisme soient simplement les conséquences de ces lois générales, la vie qui les anime ne perd pas ses droits et se manifeste aussi par des phénomènes spéciaux que les lois physiques sont encore impuissantes à expliquer. C'est ainsi que dans toutes les recherches on remonte, d'observations en conséquences, jusqu'à l'une de ces causes « sourdes, qui ne répondent plus. »

P. P. Dehérain.

II

LA GÉNÉRATION DES CRYPTOGAMES

ZOOSPORES ET ANTHÉROZOÏDES

TRAVAUX DE M. THURET.

Depuis Linné, le nombre des genres de Cryptogames s'est considérablement accru. Si le dernier embranchement du règne végétal est nettement et définitivement limité du côté des espèces supérieures, il n'offre aujourd'hui encore qu'une démarcation provisoire du côté de ces formes organiques où l'exiguïté de la taille le dispute à la simplicité de la structure. A mesure qu'il se perfectionne, le microscope recule de plus en plus l'horizon qui se présente aux investigations des physiologistes, et tout en ne cessant

de dévoiler de nouveaux types d'organisation, il nous fait soupçonner combien nous sommes encore loin de bien connaître toute la prodigalité de la nature à l'égard des groupes inférieurs des deux règnes. En présence de cette multitude continuellement croissante d'observations fournies pêle-mêle par le hasard des recherches, l'esprit synthétique du philosophe s'abandonne parfois à une sorte de découragement ; en face de ces perspectives toujours nouvelles qui menacent de se succéder sans fin devant leurs regards fatigués, les savants adonnés à l'étude de la vie dans ses manifestations les plus simples, désespérant d'épuiser leur sujet, se laissent aller jusqu'à exprimer la crainte que la science ne périt un jour accablée sous le poids de ses richesses. Mais cette appréhension s'évanouit dès qu'on réfléchit à la manière dont s'accomplit le progrès des connaissances humaines, puisqu'on voit partout l'incohérence et l'hétérogénéité servir fatalement de prélude à cette harmonie et à cette solidarité intime qui sont les attributs inséparables de toute science achevée et parfaite.

Mais si l'étude des plantes inférieures, et particulièrement des plus humbles et des plus obscures, est longue et difficile, elle présente en compensation un très-grand intérêt. Les procédés de la nature s'y montrent en effet dans leur plus simple appareil, et pour ainsi dire à nu ; les caractères les plus essentiels de la vie végétale s'y observent d'une manière plus complète que partout ailleurs, et c'est encore là qu'il faut puiser les arguments les plus aptes à trancher cette question si longtemps en litige des véritables rapports entre les deux règnes organiques. Au reste, quelque délicates et quelque infimes que soient la plupart des cryptogames, elles n'en jouent pas moins un rôle immense dans l'économie terrestre. C'est grâce à elles, en effet, que la mort se trouve être une source de manifestations nouvelles de la vie et l'auxiliaire, en quelque sorte, de cet agent mystérieux. Les cryptogames marquent le commencement et la fin de toute végétation : elles préparent le sol pour les plantes supérieures, mais à la condition que celles-ci leur abandonneront leurs dépouilles, pour en restituer les éléments au monde inorganique, c'est-à-dire à ce vaste réservoir sans cesse épuisé par la vie, mais aussi sans cesse alimenté par la mort.

C'est en considération de cette haute mission que la nature a départi aux plantes les plus simples ce prodigieux développement de la faculté reproductrice qui leur permet de suppléer par le

nombre à leur extrême petitesse comme à la faible durée de leur existence, et de se propager ainsi d'une manière aussi sûre que rapide à travers l'espace et le temps.

Aussi, dans l'immense domaine des sciences naturelles, les questions relatives à la reproduction des végétaux inférieurs, comptent-elles parmi celles dont l'étude est la plus intéressante et la plus féconde. Là, nous ne sommes plus en présence de l'uniformité qu'on observe chez les Phanérogames, mais bien de cette multiplicité qui ne se rencontre que chez les animaux des dernières classes. Parmi ces divers modes de propagation, il en est deux qui méritent une attention toute particulière : l'un est celui qui s'effectue à l'aide de germes animés ; l'autre, celui qui, longtemps refusé aux Cryptogames, ne leur a été reconnu que de nos jours, grâce à la persévérance infatigable des botanistes : nous voulons parler de la reproduction par sexes.

Parmi les observateurs qui ont le plus contribué à nous éclairer sur ces procédés curieux de génération, se place l'auteur de ces beaux travaux auxquels l'admiration des physiologistes a décerné, d'une voix unanime, une place d'honneur inaliénable dans la science biologique. Si, par l'importance des faits qu'ils nous ont dévoilés, les célèbres mémoires de M. Thuret ne pouvaient manquer de faire époque dans l'histoire de la Cryptogamie, ils ont, par la conscience qui a présidé à leur élaboration, comme par le grand caractère de précision dont ils sont revêtus, mérité sans conteste de servir de guide et de modèle aux nouvelles investigations : aussi jouissent-ils de cette sorte d'actualité permanente qui est le privilége de toutes les œuvres de haute valeur [1].

L'attention dont, tout récemment, les travaux de M. Thuret ont été de nouveau l'objet, nous a suggéré l'idée de parler ici des divers procédés de génération auxquels se rattache le rôle de ces productions singulières que pourrait si bien revendiquer le règne ani-

[1] Les travaux dont nous parlons et dont les principaux ont pour titre : *Recherches sur les zoospores des Algues; Recherches sur la Fécondation des Fucacées et sur les Anthéridies des Cryptogames; Recherches sur les Anthéridies des Fougères*, ont ouvert en 1847 à M. Thuret les portes de l'Académie des sciences, après lui avoir fait décerner en 1857 le grand prix des sciences physiques. Tout récemment encore (septembre 1866), M. Thuret a publié des observations intéressantes qui ne laissent plus aucun doute sur la réalité de la fécondation chez les Algues supérieures connues sous le nom de Floridées.

mal, et de présenter, par la même occasion, le tableau de l'état actuel de la science sur cette question, la plus intéressante, sans contredit, de toute la Cryptogamie.

I

ZOOSPORES.

De tous les moyens de propagation mis à la disposition des Cryptogames, le plus simple nous est naturellement offert par le plus élémentaire de ces végétaux. La matière verte qui tapisse les pierres placées dans le voisinage des fontaines, ou les parois des vases dans lesquels l'eau a séjourné, est uniquement formée de vésicules microscopiques dont chacune est un individu complet puisqu'elle vit et se reproduit sans le secours d' ucune autre. Les granules verts qui remplissent chacune de ces utricules sphériques, chacun de ces Protococcus, s'agglomèrent en un certain moment en un assez grand nombre de petites masses qui se convertissent en utricules secondaires ; celles-ci grossissent jusqu'à faire éclater la cellule-mère, et devenues libres, elles constituent autant de jeunes Protococcus qui n'auront plus qu'à augmenter de diamètre pour produire à leur tour par voie endogène une nouvelle lignée d'individus utriculiformes.

Ce mode de formation des germes est dans son essence absolument semblable à celui que vont nous présenter les Cryptogames moins rudimentaires, mais chez ceux-ci, les corps reproducteurs diffèrent de l'être auquel ils sont destinés à donner naissance et doivent nécessairement subir des modifications plus ou moins profondes avant d'arriver à l'état adulte.

Les caractères organiques de ces corps reproducteurs et les phases d'évolution qu'ils ont à traverser, diffèrent suivant les groupes. Il en est de même de leurs propriétés physiologiques : les uns ayant la faculté de se développer par eux-mêmes, les autres ne pouvant se transformer sans y être préalablement excités par une impulsion extérieure. Parmi les premiers, se rangent les germes infusoriformes que M. Thuret nous a le premier bien fait connaître et qu'il a désignés, en raison de leur motilité si frappante, sous le nom de *Zoospores* (σπορά, graine ; ζῶον, animal.) Les Zoospores se rencontrent chez un assez grand nombre d'Algues inférieures,

telles que les Conferves, si abondantes dans les bassins, et constituées, comme chacun sait, par de longs filaments capillaires cloisonnés de distance en distance et uniformément tapissés à leur intérieur par des petits grains de matière verte; les Vaucheries, qu'on trouve habituellement dans l'eau des tonneaux de jardin, semblables aux Conferves, mais dépourvues de cloisons, et, par conséquent, unicellulaires; les Saprolegnies, espèces de Vaucheries incolores qui recouvrent d'un duvet blanchâtre le corps des animaux noyés et qui s'attaquent même quelquefois aux poissons vivants; les Ulothrix, petites Conferves qui forment sur les pierres des ruisseaux et dans tous les endroits arrosés par le rejaillissement des chutes d'eau de petites mèches soyeuses d'un beau vert, les Draparnaldies, Algues d'eau douce d'un vert gai présentant des tubes ramifiés de structure très-délicate; les Bryopsis, sortes de Vaucheries marines; les Ulves, expansions gélatino-membraneuses servant de nourriture aux habitants des côtes septentrionales de l'Europe; les Myrionèmes, les Élachistées, parasites formant sur les Algues plus élevées, des touffes soyeuses d'un brun foncé; les Haligénies, dont la fronde étalée atteint jusqu'à quatre mètres de diamètre; les Laminaires; les gigantesques Lessonies, les Durvillées arborescentes de l'Océan antarctique, etc. Chez toutes ces Algues, si variées de structure et de taille, les zoospores se forment par la condensation de la chromule ou matière colorante contenue dans les cellules, soit en une seule masse[1], soit en glomérules plus ou moins nombreuses[2], d'abord confuses et mal limitées, plus tard nettement circonscrites et constituant alors autant de zoospores distinctes. En même temps, l'ensemble s'anime d'un mouvement de trépidation de plus en plus sensible.

Les Confervées nous montrent les zoospores naissant indistincte-

[1] Ex.: Stigéoclonie, Ulothrix muqueux.

[2] Ex.: Saprolegnie, Codie (de κώδιον, toison. Algue marine d'apparence spongieuse, constituée par des filaments tubuleux arrivant tous à la même hauteur).

Chez l'Ectocarpe siliculeux, on voit la chromule se diviser en un grand nombre de petites couches superposées. A la maturité, les zoospores sont régulièrement empilées les unes sur les autres.

Une très-grande activité dans la formation des zoospores s'observe chez les Saprolegnies. Souvent, en moins d'une heure, la matière granuleuse qui occupe les cavités de la plante se condense au sommet des filaments et s'isole ainsi du reste de ces derniers pour se résoudre définitivement en zoospores animées du mouvement le plus vif.

ment dans toutes les cellules, mais chez les Algues où commence à s'introduire la division du travail physiologique, certaines parties de la plante sont seules aptes à produire des zoospores. Ainsi, chez les Laminaires et les Scytosiphons, elles ne se rencontrent qu'à l'intérieur de cellules spéciales disséminées au milieu des cellules épidermiques [1]; chez les Codies, seulement dans des sacs ovoïdes insérés vers la base des tubes rameux dont sont composées ces plantes. On donne le nom de *zoosporanges* (ζῶον, animal; σπορὰ, graine; ἀγγεῖον, vase) aux cavités de formes diverses où se localise la production des germes mobiles [2].

Lorsque les zoospores sont arrivées à maturité, leur mise en liberté ne tarde pas à s'opérer. Chez l'Ectocarpe siliculeux, où les germes motiles occupent la cellule terminale des rameaux, le sommet de cette cellule crève pour leur donner issue [3]. Chez les Œdogonies, du groupe des Conferves, les articles du filament fructifère se détachent les uns des autres : chacun d'eux, après avoir évacué sa zoospore étant rejeté sur le côté par la poussée qu'exerce sur lui la zoospore de l'article placé immédiatement au-dessous. Dans d'autres Algues, les parois du zoosporange disparaissent par une sorte de dissolution, soit en totalité, comme chez les Ulothrix, soit seulement en un ou plusieurs de leurs points, pour constituer des ouvertures de sortie, ainsi que cela s'observe dans la plupart des Conferves [4].

[1] Ces cellules à zoospores, réunies en nombre immense, dessinent, chez le *Laminaria saccharina*, un large ruban de couleur brune qui occupe le centre de la fronde.

[2] Outre les sporanges en forme de filaments cloisonnés (trichosporanges : θρίξ, τριχός, poil), beaucoup d'Algues (ex. : Mesoglée, Élachistée, Stylophore) possèdent sur plusieurs de leurs points des sporanges ovoïdes (oosporanges) longtemps seuls connus parce qu'ils attirent l'attention plus que les autres, et décrits comme des spores simples bien qu'ils soient en réalité remplis de nombreuses zoospores. Le plus ordinairement on ne trouve, suivant l'époque, que l'un ou l'autre mode de fructification sur le même individu. La nature des organes reproducteurs est même quelquefois liée à une certaine différence dans le port ou bien encore à la diversité des stations occupées par la plante.

[3] L'évacuation s'opère promptement quoique avec beaucoup de régularité. Les couches de zoospores se désagrégent successivement, et les corpuscules reproducteurs sortent tous à la file en suivant l'axe des tubes où ils ont pris naissance.

[4] La présence d'un petit mamelon sur la paroi externe du zoosporange indique à l'avance la place où la membrane de celui-ci doit se rompre.

Dans le cas assez fréquent où les germes sont entassés en grand nombre dans la même cavité, ils s'agitent confusément en masse, de manière à rappeler, ainsi que l'exprime M. Thuret, le frémissement d'un liquide en ébullition : c'est là le prélude de leur émancipation. La violence avec laquelle s'opère la rupture du zoosporange, comme l'impétuosité qui caractérise d'ordinaire la sortie des corpuscules entassés dans sa cavité, peuvent servir de mesure à la pression exercée de dedans en dehors contre la membrane enserrante. Dans les cellules qui viennent de se débarrasser de leur contenu, on aperçoit souvent une ou plusieurs zoospores retardataires qui errent durant des heures entières le long des parois avant de réussir à trouver l'orifice qui a livré passage aux autres. Il est à noter que chez la Vaucheria cet orifice est habituellement plus étroit que la zoospore elle-même, aussi celle-ci éprouve-t-elle au moment de sa sortie un étranglement tel que M. Thuret l'a vue quelquefois se couper en deux[1].

Dès que les zoospores se sont aussi disséminées dans le liquide ambiant, il devient facile d'examiner leur structure. Elles consistent en des corpuscules ovoïdes[2] ou fusiformes[3] dont les dimensions sont assez variables. Ainsi, elles mesurent trois dixièmes de millimètre chez les Vaucheries, ce qui permet de les voir nager à l'œil nu, et seulement un demi-centième de millimètre chez les Conferves[4]. D'une belle couleur rouge cinabre chez les Saprolegnies[5], d'un

[1] Il en résulte deux zoospores plus petites, dont l'une germe dans les conditions normales, et l'autre dans la cavité même d'où elle n'a pu s'échapper.

Dans les loges fructifères des autres Algues, il n'est pas rare de rencontrer, après la dissémination, quelques zoospores condamnées par leur trop grand diamètre à un emprisonnement perpétuel.

[2] Vaucheria.

[3] Ulothrix, Saprolegnie.

[4] Le petit Myrionème qui vit en parasite sur plusieurs Algues, l'Haligénie dont la fronde étalée atteint jusqu'à quatre mètres de diamètre, et, très-probablement aussi, les gigantesques Lessonies arborescentes de l'Australie, se reproduisent par des zoospores semblables d'une égale petitesse et d'une même simplicité de structure.

[5] Les élégantes zoospores de Sphæroplée (Algue d'eau douce confervoïde présentant à l'intérieur de ses filaments des vacuoles incolores alignées comme les perles d'un collier et se détachant de la manière la plus nette au milieu des grains de chlorophylle et de fécule qu'elles séparent), habituellement de couleur rouge ou carminée, réunissent parfois deux colorations en quelque sorte complémentaires, étant, dans ces cas particuliers, rouges du côté de la

beau vert chez les Codies, elles n'offrent chez la plupart des autres Algues qu'un seul point coloré en rouge. Mais la particularité la plus intéressante est relative à l'existence de ces cils vibratiles qui donnent aux germes qui nous occupent des propriétés si singulières. Ces cils revêtent toute la surface du corps reproducteur chez la Vaucheria et le font ainsi ressembler à un animal infusoire ; ils sont disposés en couronne chez les Œdogoniées et les Derbésiées. Les Draparnaldies nous en offrent seulement quatre, et l'on n'en compte que deux chez les Saprolegnies, les Codies et les Phéosporées[1]. M. Thuret a parfaitement observé la disposition et les mouvements des cils en traitant les zoospores par le laudanum de manière à ralentir leurs mouvements, et en substituant à l'eau ordinaire une infusion colorée dont les molécules en suspension, déplacées par les flagellations des cils, en indiquent merveilleusement le jeu.

Sous l'action de ces singuliers organes moteurs, les germes nagent avec une grande vivacité dans l'eau qui les a vus naître. Leur progression n'est pas toujours continue ; elle devient quelquefois brusque et saccadée et simule alors comme un mouvement d'impatience[2]. Il peut même arriver de les voir devenir immobiles et ne reprendre leur course qu'après un certain temps de repos[3]. Une seule fois, chez des zoospores d'Ulothrix muqueux, M. Thuret a vu la motilité persister encore le troisième jour : habituellement, cette faculté ne se conserve pas au delà de la journée dans laquelle l'émission a eu lieu, et, souvent, les zoospores qui

partie atténuée et cilifère nommée rostre, et vertes dans le reste de leur étendue.

[1] Algues à zoospores brunes : de φαιός, brun. Elles ne comprennent que des espèces marines.

Dans le cas de deux cils, l'un est dirigé en avant et appliqué sur le rostre ou extrémité effilée de la zoospore, pendant que le plus court traîne par derrière comme une sorte de gouvernail.

Au moment de la sortie du zoosporange, les cils s'agitent avec une rapidité tellement grande, qu'on ne peut les distinguer.

[2] Quelquefois, ils reviennent subitement en arrière.

[3] Chez les Derbésiées, les zoospores, après des pérégrinations plus ou moins nombreuses, tombent au fond du vase dans lequel on élève la plante : on les croirait alors rentrées pour toujours dans le repos, mais ce n'est qu'un arrêt temporaire, car ces corpuscules remontent bientôt pour recommencer leurs allées et venues dans le sein de l'eau. Le mouvement des zoospores de la Sphæroplée s'interrompt aussi de temps en temps par de longues pauses.

sont devenues libres le matin, commencent à germer le soir.

La lumière exerce une influence marquée sur les zoospores. Lorsque le vase qui les contient est placé près d'une fenêtre, elles viennent bientôt former sur la paroi qui est tournée vers le jour une zone d'un beau vert (Confervées) ou d'un jaune olivâtre (Laminaires), suivant les espèces. Si l'on retourne le vase, les zoospores se déplacent pour se fixer encore du côté le plus éclairé[1]. L'action de la lumière est encore démontrée par ce fait que l'émission des germes locomotiles est toujours suspendue pendant les jours sombres, alors même que la plante qui les renferme aurait atteint sa maturité complète[2].

Au moment où elles sortent des cellules-mères, les zoospores ne sont encore constituées que par une matière homogène d'une consistance semi-fluide. La facilité avec laquelle elles se soudent[3] ou se coupent en deux lors de leur passage à travers l'orifice parfois trop étroit du zoosporange, la décomposition diffluente qu'elles éprouvent par l'action de l'ammoniaque, laquelle rappelle tout à fait ce que présentent les Amibes dans la même circonstance, sont des indices suffisants et certains de l'absence d'une véritable membrane. Mais cet état ne s'observe que dans la période de vie vagabonde de la zoospore, car dès qu'elle s'est fixée pour commencer à germer, l'existence d'une enveloppe hyaline est parfaitement rendue manifeste par l'emploi des réactifs.

Lorsque la séminule a trouvé dans ses pérégrinations un lieu convenable pour son développement, elle se dépouille de ses cils et s'applique sur les corps environnants; puis un de ses points

[1] Il est à noter que les zoospores qui se dirigent le plus volontiers vers la lumière sont celles dont la vitalité est le plus prononcée.

[2] La lumière favorise l'émission en excitant les mouvements des zoospores encore captives.

On peut poser comme règle générale que la mise en liberté des zoospores s'effectue dans les premières heures de la journée. Certaines Algues présentent même à cet égard une régularité non moins surprenante que celle qui préside à l'épanouissement des fleurs de plusieurs Phanérogames : ainsi, M. Thuret a toujours vu les zoospores de Vaucheria sortir vers huit heures du matin, et celles de la Cutlerie multifide dès la première aube du jour.

[3] On observe quelquefois toutes les zoospores d'un même individu réunies deux à deux par le rostre. Chez le Bryopsis plumeux, on a constaté l'existence de masses de forme bizarre qui s'agitaient en tournoyant dans l'eau. Ces productions ont été reconnues plus tard pour des agglomérations de zoospores soudées ensemble.

s'allonge en manière de radicelle, pendant que l'extrémité opposée, où abonde la matière granuleuse verte ou brune, s'épanouit par une multiplication de cellules, ou s'étend en tubes cloisonnés [1].

Il arrive souvent que la zoospore n'ayant pu réussir à s'échapper de la cavité où elle a pris naissance, se décide à y germer. Ses expansions digitiformes percent alors les parois de la plante-mère, et celle-ci en est bientôt toute hérissée. Ajoutons que chez plusieurs Algues, telles que les Laminaires et les Haligénies, la germination, dans sa période initiale, ressemble à s'y méprendre à celle des grains de pollen des Phanérogames : les zoospores, de forme sphérique, n'émettant d'abord qu'un simple prolongement en forme de cul-de-sac tubuleux, long et étroit.

Certains petits Infusoires présentent avec les zoospores la plus grande ressemblance : tels sont les Diselmis et les Euglènes, si abondants parfois dans l'eau de nos bassins ou des ornières de nos routes, qu'ils lui communiquent une coloration verte très-marquée, bien qu'ils n'aient chacun qu'un à deux centièmes de millimètre. La présence de la matière verte dans leur intérieur, à laquelle s'associe, chez plusieurs variétés, le point rouge si fréquent dans les zoospores ; la disposition des cils [2] ; leur tendance à se diriger vers la lumière ; la manière dont ils se comportent à l'égard des réactifs; tous leurs caractères, en un mot, jusqu'aux diverses particularités de leur locomotion, rendent fort difficile la distinction qu'on voudrait établir entre ces infusoires et les zoospores en activité. M. Thuret n'a pu déterminer l'animalité ou la végétabilité des corpuscules qu'il avait sous les yeux, que grâce à une observation patiente qui lui permit de les suivre à travers toutes les phases de leur évolution et de constater alors leur mode différent de propagation : de sorte que la germination, c'est-à-dire l'extension en un tissu cellulaire, doit être considérée comme le caractère essentiellement distinctif des zoospores.

L'embarras des physiologistes vient en grande partie de ce que

[1] L'allongement de la jeune plante est généralement très-rapide.

Chez les Bryopsis, la germination est beaucoup plus lente à se manifester que chez la plupart des autres Algues. Elle ne commence guère en effet qu'un mois ou six semaines après la dissémination.

[2] La disposition des cils est encore la même, pour les zoospores des Algues phéosporées, que chez les Cercomonas et les Amphimonas de Dujardin.

les mouvements des zoospores ont, le plus souvent, tout à fait le caractère de la spontanéité. Les allées et les venues qu'elles exécutent dans l'intérieur du zoosporange, comme pour découvrir l'orifice de sortie ; les efforts surprenants qu'elles font pour arriver à se dégager lorsque, dans le cas d'un diamètre mal proportionné, elles se trouvent comme étranglées par les bords de cet orifice ; leur division spontanée, leur passage de la motilité au repos temporaire, la forme amiboïde qu'elles revêtent parfois, sont autant de raisons qui poussent à attribuer à ces singuliers corps reproducteurs plus qu'un simple automatisme.

II

ANTHÉROZOÏDES.

D'autres corps animés, munis de cils vibratiles, s'observent encore chez les Cryptogames, et particulièrement chez les espèces supérieures. Ces nouvelles productions mobiles sont incapables de germer ; mais si elles ne prennent pas directement part au renouvellement et à la multiplication de l'individu, elles n'en sont pas moins indispensables à l'accomplissement de ce phénomène. Leur rôle consiste, en effet, à communiquer par contact la faculté d'organisation à une petite masse sphérique, destinée à reconstituer le type de la plante par une complication graduelle de sa structure primitive. Cette masse plastique, nommée spore, complétement inerte par elle-même, ne saurait faire ses premiers pas dans la voie des métamorphoses sans y être préalablement excitée par une cause extérieure. Les corpuscules animés dont nous parlons se mettent donc en rapport avec elle, et ne rentrent pour toujours dans le repos qu'à partir du moment où ils ont pu ainsi exercer sur cette sorte de germe leur influence vivifiante, par l'abandon en sa faveur de leur vitalité propre.

C'est alors seulement que commence, dans le sein de la spore, cette longue série de mouvements nutritifs, aussi insaisissables que les molécules qu'ils transportent, et dont les effets seuls sont à la portée de nos moyens actuels d'observation. Leur résultante tend irrésistiblement vers un but assigné d'avance, coordonnés à cet effet par cette puissance indéfinissable dont l'étude des phé-

nomènes de la vie, à la fois si complexes et si harmonieux, nous décèle presque à chaque instant l'intervention.

La fécondation, ou vivification du germe par communication de mouvement, présente, au reste, chez les Cryptogames, une ressemblance frappante avec ce qui s'observe dans le règne animal. L'acte le plus merveilleux du monde organique s'accomplit, en effet, ici et là, à l'aide des mêmes agents et par des procédés physiologiques tout à fait analogues. Dans les deux cas, nous voyons un corpuscule doué d'un mouvement propre, et conduit par une sorte de volonté intérieure, venir se mettre en rapport avec une masse organisable, vitellus ou spore, pour provoquer sa transformation en un nouvel être vivant.

Les *Anthérozoïdes* (ζῶον, animal ; εἶδος, ressemblance), ou corpuscules fécondateurs des Cryptogames, se développent dans des organes spéciaux nommés anthéridies à cause de l'analogie de leur rôle avec celui de l'anthère des Phanérogames. La forme de ces organes varie suivant les groupes. Chez les Mousses, les anthéridies sont groupées au milieu de la rosette qui termine certains rameaux, ou simplement insérées à l'aisselle des feuilles axillaires. Elles consistent en un sac ovoïde ou claviforme, dont les parois sont formées par une seule rangée de cellules. L'intérieur en est occupé par un tissu très-délicat, composé de cellules extrêmement petites, toutes issues par voie de cloisonnement d'une seule cellule primitive, et renfermant chacune un anthérozoïde. L'extrémité rétrécie ou supérieure de l'anthéridie se fait remarquer par sa vive couleur orangée, et c'est toujours en ce point que la cuticule dont l'organe est revêtu, se déchire pour livrer passage au contenu. Lorsqu'on a sous les yeux un involucre mâle parvenu à maturité, on trouve souvent, à côté d'anthéridies ouvertes au sommet et vides, d'autres anthéridies intactes, à l'intérieur desquelles un grossissement de trois à quatre cents diamètres fait distinguer un fourmillement des plus singuliers.

C'est chez les Jungermannes naines [1] que les mouvements des anthérozoïdes ont été décrits pour la première fois par Schmidel [2], il y a cent vingt ans. Ici, les anthéridies sont libres, pédicellées et implantées dans la nervure médiane de la fronde [3] ; elles doivent

[1] *Jungermannia* vel *Fossombronia pusilla.*
[2] *Icones plantarum et analyses partium*, 1747.
[3] Dans la Jungermanne épiphylle (*Jungerm. vel Pellia epiphylla*), les

leur belle couleur jaune aux granules renfermés dans les cellules qui composent leur enveloppe. L'approche du moment de la déhiscence est annoncée par la turgescence des cellules supérieures, et l'émission des corpuscules mâles, au lieu de s'opérer comme chez les Mousses, ainsi que cela se fait d'ordinaire, est parfois précédée d'une dislocation complète des parois du sac spermatique.

Dans les Marchanties polymorphes[1], les anthéridies ne sont plus portées directement par la fronde ou par le thalle, mais bien sur des réceptacles particuliers, consistant en petits chapeaux sinueux sur leurs bords et montés sur des pédicelles. Dans l'épaisseur de leur tissu, on observe des sacs allongés venant tous s'ouvrir à la surface libre, et subdivisés à leur intérieur en nombreuses alvéoles très-petites, qui logent chacune un corps filiforme enroulé en cerceau. Lors de la déhiscence de l'anthéridie chez les Hépatiques comme chez les Mousses, toute la masse celluleuse centrale est expulsée en une seule fois, et c'est par une sorte de dissolution des mailles de son tissu que la mise en liberté des anthérozoïdes s'opère.

C'est à M. Thuret que nous devons de bien connaître la structure remarquable des anthéridies du Chara[2]. Ces organes sont renfermés dans les tubercules sphériques d'un rouge orangé qui sont insérés immédiatement au-dessous du point de départ des verticilles de rameaux. Les parois de ces tubercules sont formées par la juxtaposition de huit pièces triangulaires, unies entre elles par leurs bords crénelés. Un nombre égal de vésicules oblongues, fixées perpendiculairement au milieu des pièces dont nous parlons, convergent au centre de la cavité du globule et s'y réunissent par l'intermédiaire d'une petite masse celluleuse, de laquelle émanent un grand nombre de tubes vermiformes très-grêles, qui sont

sacs à anthérozoïdes sont immergés dans le parenchyme de la plante, et leur présence se révèle à la surface par de petits mamelons qui prennent en été une teinte brun violet.

[1] Sorte d'Hépatiques qu'on trouve fréquemment croissant entre les pavés des cours désertes.

[2] Les Chara ou Charaignes vivent au fond des eaux dormantes, dans les lacs et dans les étangs. Leur tige est composée d'articles formés chacun d'un long tube cylindrique souvent entouré de cinq ou six tubes plus étroits soudés intimement avec lui et contournés en hélice. De chaque articulation naissent des rameaux verticillés de même structure que la tige principale.

autant d'anthéridies. Ces filaments flexueux, emmêlés en apparence d'une manière inextricable, sont subdivisés par de nombreuses cloisons en compartiments très-petits, dans chacun desquels naît un petit corps allongé, enroulé plusieurs fois sur lui-même et parfaitement visible, grâce à la translucidité des parois de sa loge.

Lorsque les anthéridies sont arrivées à leur complet développement, les valves du globule octaédrique qui leur fournit un abri se séparent et se redressent graduellement en dehors. Les vésicules oblongues, entraînées dans ce mouvement, emportent chacune à leur extrémité une portion de la masse celluleuse centrale sur laquelle sont implantés les tubes anthéridiens, qui, réunis en touffes à leur sommet, leur forment comme une sorte de longue chevelure. Le microscope fait apercevoir les anthérozoïdes se repliant en tous sens à l'intérieur des articles où ils sont renfermés. M. Thuret les a vus s'échapper au dehors par un mouvement brusque, tout à fait analogue à celui d'un ressort qui se détend. Çà et là, quelques-uns de ces corpuscules dont l'émancipation tarde à s'opérer, cessent leurs mouvements pendant un certain temps, comme s'ils étaient accablés de lassitude par les violents efforts qu'ils ont faits pour se dégager de leurs cellules-mères ; mais enfin, rassemblant toute leur énergie, ils parviennent à briser les parois de leur étroite prison. Souvent, par une sorte de transition, l'une des extrémités demeure prise dans l'anthéridie pendant que l'autre s'agite convulsivement à l'extérieur.

Chez les Fucus ou Varechs, les germes et les corpuscules vivifiants s'élaborent dans ces petites cavités sphériques, situées sous l'épiderme de la plante et auxquelles on a donné le nom de conceptacles. Chez certaines espèces [1], les spores et les anthérozoïdes se développent sur des individus distincts ; chez d'autres [2], dites monoïques, les deux sortes de corps reproducteurs sont réunis dans les mêmes loges. A l'époque de la maturité, les conceptacles,

[1] Fucus vésiculeux ; F. denté ; F. noueux ; F. céranoïde ; Himanthalie loraire.

[2] Fucus platycarpe (Th.) ; Halydris siliqueux ; Pycnophycée tuberculeuse (πυκνός, épais ; φῦκος, fucus) ; Cystosire abrotunifoliée (κύστις, vésicule ; σειρὰ, chaîne) ; Cystosire fibreuse. Dans cette dernière espèce, les conceptacles se forment jusque sur les vessies aériennes produites, comme chez le Fucus vésiculeux, par le renflement des rameaux.

hermétiquement clos à l'origine, s'ouvrent à la surface de la fronde par un petit pore ou ostiole, à travers lequel leur contenu ne tarde pas à se répandre au dehors. Les pieds mâles se reconnaissent alors à la couleur orangée des ostioles et les femelles à leur couleur olivâtre. Ces deux colorations caractéristiques s'observent à merveille chez les deux espèces de Fucus les plus communes, le denté et le vésiculeux, et le plus simple examen microscopique démontre qu'elles sont dues, la première à l'accumulation des anthéridies, la seconde à celle des spores, autour de l'ouverture d'évacuation des cavités fructifères. Une section, pratiquée perpendiculairement à la surface de la fronde, à travers une de ces cavités, permet d'observer les anthéridies en place: les organes mâles, assez semblables ici à ceux des Mousses, se montrent insérés sur des poils articuleux et rameux qui tapissent en nombre immense les parois des conceptacles[1] et convergent tous vers l'ostiole.

Parmi les Algues d'eau douce, se trouvent des espèces de structure extrêmement simple qui possèdent à la fois des zoospores et des anthérozoïdes. Non contentes de se multiplier par les germes mobiles étudiés dans le chapitre précédent, elles se servent encore de la reproduction sexuelle, comme pour fournir un nouvel exemple de l'identité de résultats que l'habileté mystérieuse de la nature sait tirer de deux moyens d'action essentiellement différents. Il est vrai que les organes élaborateurs de la spore et des corpuscules vivifiants partagent la simplicité de la plante qu'ils sont appelés à faire renaître, mais la fécondation ne s'en effectue pas moins à l'aide du même procédé que chez les Fucus. La Vaucheria est celle de ces Algues zoosporées à double reproduction chez laquelle les anthéridies ont été d'abord observées. Le naturaliste Vaucher, à qui cette plante a été justement dédiée, les décrivit pour la première fois, il y a un demi-siècle, et, déjà, il les considérait comme des anthères renfermant une matière fécondante destinée à agir à l'extérieur. La même cellule, dans le sein de laquelle nous avons vu se développer les zoospores, se tuméfie sur l'un de ses points de manière à produire un mamelon; celui ci, en s'allongeant perpendiculairement, puis en se recourbant sur lui-même, arrive à constituer l'organe qu'on désigne, en raison de

[1] C'est à la base de ces mêmes poils que sont fixées les spores.

sa forme, sous le nom de cornicule. A l'origine, ce cœcum contourné communique dans toutes ses parties avec la cavité de la cellule dont il dépend, mais bientôt une mince cloison sépare son extrémité libre de la région basilaire. Dans la petite chambre nouvellement établie, une matière granuleuse, déposée à l'avance, s'organise en une multitude de petits bâtonnets qui sont autant d'anthérozoïdes. L'émission, toujours précédée d'un mouvement trépidatoire de la masse générale, s'opère par une ouverture qui se pratique à l'extrémité terminale de la cornicule, et, aussitôt libres, les anthérozoïdes se dirigent à travers l'eau, vers le sporange situé dans le voisinage.

Chez les Fucacées, où s'observe le plus haut degré de perfectionnement, les agents de la fécondation s'élaborent à l'intérieur d'anthéridies logées dans des cavités protectrices ou conceptacles; chez la Vaucheria, les anthéridies sont à nu et forment saillie à la surface des tubes constitutifs de cette Algue. Une seconde simplification de structure devra amener la suppression de ces organes spéciaux en même temps que l'adaptation de la partie végétative de la plante au rôle des anthéridies absentes : c'est précisément ce qui nous est offert par la Confervoïde d'eau douce dont nous avons déjà décrit les curieuses zoospores, la Sphéroplée. La matière orangée placée sur les confins des lacunes translucides qui donnent à cette Algue tubuliforme un aspect si caractéristique, se résout dans plusieurs articles en une infinité de corpuscules qui, au bout de peu de temps, commencent à s'agiter confusément.

Quelques-uns se détachent de l'agglomération où ils sont plongés pêle-mêle, pour errer dans la lacune la plus voisine. Bientôt imités par d'autres, la cavité cellulaire se trouve en définitive tout entière occupée par d'innombrables petits corps claviformes qui fourmillent dans tous les sens avec une vivacité surprenante. Simultanément, la membrane des cellules-mères s'est percée d'une ou plusieurs ouvertures semblables à celles que nous avons signalées pour les cellules à zoospores; un ou deux anthérozoïdes s'échappent et, comme s'ils venaient de montrer le chemin, tous les autres sortent à leur tour, en files serrées [1].

[1] Quelquefois la matière mucilagineuse renfermée dans les articles vient obstruer le pertuis : les corps locomotiles s'élancent alors avec violence contre cet obstacle pour forcer l'issue. M. Cohn, de Fribourg, l'auteur de l'Histoire de

C'est en vain qu'on chercherait les appareils mâles des Fougères et des Prêles sur la plante adulte : celle-ci ne porte en effet que des agglomérations plus ou moins considérables de grains vésiculeux microscopiques rappelant complétement par leur structure les grains de pollen des Phanérogames. Chacun d'eux est susceptible de former par la germination un petit organe transitoire qui se charge de préparer les éléments fécondateurs et le germe sur lequel ils doivent agir. L'organe en question consiste en une lame celluleuse, cordiforme chez les Fougères, trapézoidale chez les Equisétacées et dont la largeur varie seulement de trois à huit millimètres : on lui donne, à raison de sa destinée, les noms de proembryon ou de prothallium. C'est sur cette lame parenchymateuse jusque-là soustraite par sa petitesse aux recherches des physiologistes, que les anthéridies des Fougères et des Prêles ont été observées pour la première fois par M. Nægeli, en Allemagne ; cette découverte, l'une des plus importantes de la science des végétaux, fut un peu plus tard complétée par M. Suminski qui dévoila l'existence des organes femelles ; depuis, les consciencieux travaux de MM. Thuret et Hofmeister ont tiré de l'inconnu jusqu'aux moindres détails de cette curieuse reproduction à double phase [1].

Les anthérozoïdes, étudiés maintenant d'une manière spéciale, peuvent être rapportés à trois types différents : le premier, fourni par les Fucacées ; le deuxième, par les Mousses et le troisième par les Cryptogames munis de proembryons.

Chez les Fucus, les anthérozoïdes consistent en corps hyalins dont le diamètre ne dépasse pas un deux-centième de millimètre. Ils sont munis de deux cils très-déliés de longueur inégale : l'un, dirigé en avant, s'agite avec la plus grande vivacité pendant que son congénère, rejeté en arrière, reste le plus souvent immobile.

la Sphéroplée, a vu les anthérozoïdes ainsi incarcérés s'agiter encore tumultueusement dans leur cavité même après douze heures de tentatives inutiles.

[1] Dans les deux familles des Lycopodiacées et des Rhizocarpées (Pilulaire, Marsilée, Salvinie), les anthéridies ne se forment pas sur le prothallium, mais bien sur la plante adulte, concurremment avec les grains polliniformes chargés de donner naissance, par la germination à l'appareil élaborateur de la véritable spore. A l'exemple de ces derniers, les organes mâles se séparent de la plante adulte. Leur développement s'achève dans la terre humide, et les anthérozoïdes ne sont mis en liberté qu'à l'époque où le proembryon a atteint sa maturité.

La présence d'un granule orangé dans chacun de ces anthérozoïdes explique la coloration caractéristique que prennent les ostioles des conceptacles mâles au moment de l'émission : les anthéridies, expulsées en foule des cavités où elles ont pris naissance, viennent former à l'entrée de celles-ci de petits mamelons visqueux d'une couleur orangée des plus vives. Si, à l'aide d'une aiguille, on détache, comme l'a fait M. Thuret, un peu de cette matière visqueuse pour l'examiner au microscope dans une goutte d'eau de mer, on constatera qu'elle est en effet entièrement constituée par de très-petits sacs ovoïdes qui presque aussitôt se vident, sous l'influence de l'humidité, des nombreux anthérozoïdes qu'ils contiennent.

Ceux-ci présentent une ressemblance frappante avec les zoospores de certaines Algues et viennent ainsi fournir un nouvel exemple de ce fait que deux corps organiques de structure élémentaire peuvent offrir extérieurement la même disposition matérielle sans avoir nécessairement et conséquemment les mêmes propriétés et les mêmes fonctions, ou encore la même essence ou la même destinée [1]. Toutes les cellules glandulaires se ressemblent, et pourtant la nature des principes qu'elles séparent du sang ou qu'elles élaborent à l'aide des matériaux qu'elles y ont puisés, est bien différente suivant chacune d'elles. Les globules blancs du sang, longtemps considérés comme des parasites de l'ordre des Amibes, ne sont que de simples productions cellulaires renfermant un peu de substance contractile. Les œufs des différents Mammifères sont tous identiques, ils consistent tous en une simple sphérule à peine visible à l'œil nu; la même simplicité de structure s'observe dans chacun d'eux, et pourtant de celui-ci naîtra un Homme, de celui-

[1] C'est avec les zoospores des Algues phéosporées (Laminaires, etc.), que les anthérozoïdes des Fucus présentent le plus de rapports. Non-seulement la forme générale est la même, mais aussi la dimension; les cils sont au nombre de deux chez les uns et chez les autres et présentent une disposition analogue, enfin il n'est pas jusqu'au point rougeâtre des zoospores qui n'ait son correspondant dans le granule orangé des corpuscules mâles. Aussi ne faut-il pas s'étonner que les premiers observateurs aient pris les anthérozoïdes des Varechs ou d'autres Cryptogames pour des propagules analogues aux zoospores : plusieurs fois même, on essaya de les faire germer, et constamment ils se décomposèrent au bout d'un à deux jours. L'insuccès de ces expériences fit alors considérer les produits des anthéridies comme une seconde forme de corps reproducteurs destinés à demeurer stériles, et cette opinion se maintint jusqu'au moment où des physiologistes plus heureux purent prendre les anthérozoïdes sur le fait.

là, un Cabiai stupide ou un Hippopotame immonde. Nous voyons une nouvelle confirmation de ce qui précède dans l'embarras où se trouvent les micrographes toutes les fois qu'il s'agit de distinguer les zoospores des anthérozoïdes et les uns et les autres de certains Infusoires : l'identité des caractères extérieurs de ces trois espèces de corps est même telle, que la connaissance certaine de leur véritable nature ne s'acquiert que lorsqu'on réussit à les suivre jusqu'au terme de leur existence[1]. C'est alors seulement qu'on peut prendre pour des zoospores ceux de ces corpuscules mobiles qui se végétalisent, pour des Infusoires ceux dont l'animalité est permanente, et pour des anthérozoïdes, enfin, ceux qui perdent leur motilité sans se transformer et disparaissent sans laisser de descendance.

Les anthérozoïdes des Vaucheries et des Sphéroplées appartiennent au même type que ceux des Fucus. Chez les premières, ils consistent en très-petits bâtonnets brillants munis de deux cils inégaux et présentant à leur intérieur un point bien marqué. Chez les secondes, les corpuscules spermatiques ont la forme de fuseaux allongés, teintés de jaune et portant deux longs cils au sommet de leur pointe; les mouvements des anthérozoïdes de la Sphéroplée se font remarquer par diverses particularités curieuses qui ont été observées et décrites avec beaucoup de soin par M. Cohn, de l'Université de Fribourg[2].

A côté des Mousses se placent les Hépatiques et les Characées : chez ces trois familles, les anthérozoïdes consistent en petits corps filiformes enroulés portant à l'une de leurs extrémités deux longs cils d'une ténuité extraordinaire. Ceux des Polytrics ont la forme d'un cerceau épaissi sur un point de sa circonférence ; ceux des Funaires sont courbés sur eux-mêmes à la manière d'un ressort de montre et terminés d'un côté par un renflement analogue à celui

[1] Les caractères physiologiques sont tellement indépendants des caractères extérieurs que souvent *la fonction*, d'après l'expression de M. Claude Bernard, *précède la forme :* c'est ainsi que nous voyons la fibre musculaire se contracter longtemps avant d'offrir l'apparence ordinaire, et le cœur des Animaux vertébrés exécuter ses mouvements rhythmiques alors même qu'il n'est encore qu'à peine ébauché.

[2] Rarement ils s'avancent en ligne droite. La plupart du temps ils décrivent une cycloïde par un mouvement de progression saccadée. On en voit qui tournent « comme un bâtonnet qui serait fixé par son milieu » ou bien qui se meuvent en rond sur eux-mêmes « à la manière d'un chat qui court après sa queue ».

logue à celui d'une massue, et de l'autre par une partie effilée donnant attache à deux filaments d'une longueur considérable et d'une finesse telle que les meilleures lentilles peuvent tout au plus faire soupçonner leur présence. Les anthérozoïdes des Charas ont été comparés à des fragments de trachées déroulables ; leur spire peut compter, en effet, jusqu'à quatre tours : les deux cils naissent un peu en arrière de l'extrémité antérieure régulièrement effilée ; l'extrémité opposée est plus épaisse que le reste du corps, granuleuse et obscurément limitée.

Tous ces anthérozoïdes à corps contourné en hélice progressent avec rapidité en tournant sur leur axe à la manière d'une vis qui pénètre dans son écrou : le corps possédant une certaine rigidité qui lui fait conserver sa forme pendant le mouvement. Celui-ci s'entretient à l'aide des deux cils dont l'agitation incessante s'opère par des ondulations qui prennent naissance à la base pour se propager rapidement jusqu'à l'extrémité.

Les anthérozoïdes des Fougères, des Prêles, des Pilulaires, etc., sont également de forme turriculée [1], mais les deux longs filaments vibratiles des Mousses et des Charas sont ici remplacés par une rangée de cils courts et nombreux qui leur constituent comme une sorte de crinière. Par l'effet des flagellations de ces appendices déliés, la spire s'anime d'un mouvement rotatoire beaucoup plus vif encore que chez ces derniers Cryptogames et souvent accompagné d'oscillations particulières dues à des changements successifs dans l'orientation de l'axe. Lors de la déhiscence de l'anthéridie, le corps fécondateur est encore enfermé dans sa cellule-mère ; mais la résorption de celle-ci dans l'eau ambiante ne tarde pas à le mettre en possession de la liberté de ses mouvements [2]. L'anthérozoïde s'élance alors dans son nouveau milieu avec une rapidité prodigieuse. Aux rares instants où sa locomotion se ralentit, on peut observer sa forme et la disposition de ses cils ; souvent la partie terminale de la spire contourne à demi une grande vésicule translucide dans laquelle le microscope fait apercevoir quel-

[1] Ils sont constitués plutôt par un ruban que par un fil, l'hélice a deux tours et demi : les deux premiers tours, manifestement aplatis, portent les cils.

[2] Les parois de cette cellule jouissent en effet de la singulière propriété de se dissoudre dans l'eau. Au bout de deux à trois minutes de contact avec ce liquide, il n'en reste plus aucun vestige.

ques granules de nature amylacée, habituellement projetés contre les parois par l'effet de la force centrifuge.

Les faits relatifs à la motilité des anthérozoïdes légitiment l'extension à ces curieuses productions de ce que nous avons déjà dit touchant la ressemblance frappante des zoospores avec certains corps de nature essentiellement animale. Nous constatons même ici une duplicité de points de contact avec le règne organique supérieur, car les anthérozoïdes ne rappellent pas seulement par leurs divers caractères extérieurs certaines formes de la classe des Infusoires[1], mais encore les spermatozoïdes des Animaux par une identité absolue de propriétés.

Maintenant que nous avons accompagné les éléments mâles des Cryptogames jusqu'au moment où, libres dans leur action, ils sont devenus aptes à jouer leur rôle spécial, il ne nous reste plus qu'à parler de la fécondation en elle-même.

Cet acte s'accomplit dans l'intérieur même du sporange ou tout au moins dans le voisinage de l'organe qui a préparé la masse organisable tout à fait comparable par sa destinée au vitellus de l'œuf animal.

Chez les Fucus, les sporanges tirent leur origine de cellules qui composent les parois des excavations précédemment décrites sous le nom de conceptacles. Chacune de ces cellules se divise en deux par une cloison transversale, et la loge supérieure se remplit d'une substance granuleuse d'un gris olivâtre qui augmente progressivement à la fois de volume et de densité ; à un certain moment, huit taches brunâtres apparaissent dans l'intérieur de cette masse et indiquent la formation de huit centres d'attraction : ceux-ci, en réunissant autour d'eux des quantités à peu près égales de la substance granuleuse, arrivent à constituer huit petites sphères accolées les unes aux autres et remplissant exactement la cavité de la cellule qui leur sert de mère commune[2]. Les sporanges se pré-

[1] Ainsi les anthérozoïdes des Algues marines connues sous le nom de Polysiphonies ont beaucoup de ressemblance avec les Monades. Lorsque celles-ci sont mêlées aux globules issus des anthéridies des Polysiphonies, il devient impossible de distinguer ces corps les uns des autres.

Il faut, ainsi que le fait remarquer M. Cohn, bien se garder de confondre les anthérozoïdes de la Sphæroplée avec certains Infusoires parasites, tels que la Trachélie trichophore, qui s'introduisent dans les cellules de la plante par les perforations qui s'y sont formées.

[2] La substance plastique que nous venons de voir se segmenter en huit

sentent alors sous la forme de gros corps ovoïdes fixés par un court pédicule aux parois de la cavité conceptaculaire. Il est essentiel de noter que la maturité de ces sortes d'organes coïncide avec celle des anthéridies : au moment, en effet, où les sacs à anthérozoïdes se détachent en foule des poils sur lesquels ils sont insérés, les spores, mises en liberté par la rupture de leurs cellules mères, viennent s'accumuler au bord des ostioles sous forme de mamelons de couleur olivâtre et de consistance visqueuse. Les germes sont complétement dépourvus de téguments au moment où ils sortent de la cavité fructifère ; ce caractère semble d'ailleurs commun à tous les propagules destinés à subir l'action fécondatrice, la membrane enveloppante n'apparaissant dans tous les cas qu'au moment de la germination. La forme sphérique des spores de Fucus est donc uniquement maintenue par la cohésion de la matière visqueuse de nature protéique dont elles sont composées et au sein de laquelle sont empâtés les grains de chlorophylle qui communiquent aux spores leur couleur caractéristique.

Dans le groupe des Mousses, les organes préparateurs du globule germinatif occupent des places analogues à celles où résident les anthéridies. Leur forme rappelle celle d'une bouteille ou d'un pistil simple. A l'origine, ils ne consistent qu'en une petite utricule qui, par des cloisonnements successifs, arrive à produire un corps allongé à partie supérieure styliforme, de structure tubulaire, s'ouvrant au centre d'un évasement comparable à un stigmate, et à partie basilaire renflée logeant dans son intérieur une cellule assez grande qui n'est autre chose que la spore.

Les sporanges des Hépatiques sont analogues à ceux dont nous venons de parler. Chez les Hépatiques du genre Marchantie, ils se montrent insérés en saillie à la face inférieure des huit rayons constitutifs de petites ombrelles pédicellées, disposées de la même manière que les chapeaux à anthéridies ; chez celles du genre Riccia, ils sont immergés dans le tissu de la plante et leur extrémité supérieure à laquelle on pourrait donner le nom de goulot vient s'ouvrir à la surface. L'organe femelle des Charas est fixé chez les espèces unisexuées à la même place que les anthéridies, et chez

parties chez les Fucus ordinaires, subit seulement la division quaternaire chez les Ozothallies, et la binaire chez les Pelvéties. Elle reste même complétement indivise chez certaines autres Fucacées, telles que les Cystosires, les Himanthalies, etc.

les hermaphrodites, toujours dans le voisinage de ces dernières, au-dessous du point d'émergence des rameaux secondaires. Sa forme est encore comparable à celle d'une bouteille, mais sa structure ne reproduit pas la simplicité précédente : le sporange devant être ici considéré comme un rameau raccourci. Il se montre en effet enveloppé comme la tige elle-même de cinq tubes contournés en hélice, seulement celle-ci s'est renflée à sa base pour fournir un abri à la cellule germinative ; les extrémités des tubes du revêtement extérieur composent au sommet une sorte de couronne stigmatique au centre de laquelle vient s'ouvrir un petit canal partant inférieurement de la cavité du sporange.

Les divers membres des familles supérieures de l'embranchement des Cryptogames présentent, ainsi que nous l'avons fait remarquer plus haut, deux phases distinctes de végétation; l'une correspondant à l'évolution de la forme longtemps seule étudiée ; l'autre, à la constitution de l'organe transitoire découvert pour la première fois par Nœgeli chez les Fougères et connu sous le nom de prothallium. Celui-ci, issu de la germination d'une cellule non fécondée, détachée de la plante-mère, aboutit à la préparation et à la vivification d'une nouvelle cellule qui est la véritable spore. Avant que les anthéridies disséminées en assez grand nombre à la surface du prothallium, soient arrivées à maturité, quelques sporanges se dessinent près de l'échancrure de la lame celluleuse ; bientôt ces nouveaux organes sont complétement développés et le germe tout prêt dans leur sein n'attend plus que la déhiscence des sacs fécondateurs.

Si le grand fait de l'existence d'une véritable sexualité chez les Cryptogames n'était encore qu'à l'état d'hypothèse, celle-ci trouverait déjà un appui incontestable dans un assez grand nombre d'observations parmi lesquelles nous nous contenterons de citer la libre communication de la cavité du sporange avec l'extérieur, l'antériorité du développement des anthéridies sur celle du sac protecteur et élaborateur du germe ou, au moins, la coïncidence des époques de maturité ; la stérilité des individus à sporange lorsque ceux à anthéridies ne croissent pas dans leur voisinage [1]; l'existence d'hybrides dans l'embranchement des Cryptogames

[1] Ainsi, les Mousses dioïques fructifient très-rarement. Il suffit pour rendre une femelle stérile de l'isoler des individus à anthéridies.

comme dans celui des Phanérogames, l'égalité de valeur qu'accuse pour les deux sortes d'organes en question, l'identité des places qu'ils occupent respectivement chez les uns et les autres de ces individus, leur promiscuité habituelle dans les espèces monoïques, etc. Mais les habiles recherches des physiologistes contemporains, en nous faisant enfin assister au contact matériel des deux éléments générateurs, sont venues donner toute leur valeur à cette série d'observations, et les réunir en un seul faisceau de preuves décisives.

C'est peut-être chez les Varechs que le phénomène de la fécondation s'observe avec le plus de netteté et de précision ; depuis les travaux de M. Thuret, il ne reste d'ailleurs plus rien à élucider sur ce sujet. Peu d'instants après la sortie des spores, les anthérozoïdes rejetés simultanément des mêmes conceptales ou d'autres placés dans le voisinage, se précipitent sur elles pour s'accumuler à leur surface et leur former ainsi comme une enveloppe frétillante ou encore comme un revêtement de cils vibratiles. La vitalité des corpuscules locomotiles semble s'exalter au contact des germes ; les oscillations des filaments devenues plus rapides que jamais parviennent à faire tourner la spore sur elle-même[1] et à reproduire ainsi le phénomène que nous offre le vitellus de beaucoup d'Animaux animé d'un mouvement rotatoire par les flagellations des cils qui veloutent sa surface. Mais l'anthérozoïde ne se borne pas à s'attacher à la surface de la spore : comme pour compléter l'analogie avec l'imprégnation de l'œuf animal, quelques-uns de ces corpuscules, à l'exemple des spermatozoïdes, pénètrent dans le sein même de la masse plastique[2].

Celle-ci se montre, après la fécondation, parsemée de points orangés qui ne sont autre chose que des granules d'anthérozoïdes. La consistance encore gélatineuse de la spore et sa nudité complète suffisent pour expliquer la pénétration des corps fécondateurs, mais chez les Animaux, où le vitellus est protégé par une enveloppe épaisse et résistante, l'action vivifiante ne peut s'exercer qu'autant qu'il existe à travers cette enveloppe une fente plus ou moins étendue permettant aux spermatozoïdes errants à la surface

[1] Ce mouvement est souvent entretenu pendant des heures entières.

[2] Chez les Œdogonies, M. Pringsheim a parfaitement vu les anthérozoïdes s'incorporer à la substance de la spore. Cette observation a, depuis, été reconnue exacte par M. Thuret.

externe, de venir se mettre en rapport avec la partie essentielle du germe : c'est là la seule différence réelle qu'on puisse citer entre l'œuf et la spore sous le rapport du mécanisme de la fécondation.

Les spores qui n'ont pas pu subir l'influence des anthérozoïdes ne tardent pas à entrer en décomposition. Au lieu de faire sortir du monde brut de nouvelles molécules pour les attirer à elles et les grouper suivant un plan déterminé, elles dissocient leurs éléments constitutifs devenus incapables, par défaut d'excitation, de conserver leur caractère organique[1].

Le phénomène de la fécondation chez la Vaucheria a été parfaitement observé et décrit par M. Pringsheim, de Leipzig. L'organisation de cette Algue est tellement avantageuse pour le physiologiste que les appareils reproducteurs peuvent y être étudiés dans leur état naturel et sans aucune préparation ; de plus, la parfaite transparence du sporange a permis à ce naturaliste de suivre avec toute la netteté désirable et jusque dans les détails les plus minutieux la pénétration des corpuscules mâles et les résultats de leur action sur le contenu de l'organe femelle[2].

Une autre démonstration convaincante du rôle des anthérozoïdes nous est fournie par les observations qui ont été faites sur les Cryptogames supérieurs : M. Schimper a vu chez les Mousses du genre Sphagnum, M. Hofmeister chez celles du groupe des Funaires, des anthérozoïdes engagés dans le canal du style maintenu béant à son extrémité pendant toute la durée de la fécondation, ou parcourant librement la cavité du sporange. La part matérielle que les mêmes corpuscules prennent à la reproduction des Fougères, a encore été complétement mise hors de doute par M. Hofmeister ; ce botaniste, en effet, a été assez

[1] M. Thuret a constaté que les spores de Fucus se comportent encore de la même façon toutes les fois qu'on tente de créer des hybrides par la fécondation d'une espèce à l'aide des anthérozoïdes d'une autre.

[2] Un instant après la déhiscence du mamelon unicellulaire qui constitue le sporange de la Vaucherie, par une coïncidence bien remarquable la cornicule placée à proximité (*voy.* plus haut), s'ouvre aussi à son sommet. Les anthérozoïdes se répandent aussitôt dans l'eau et viennent au nombre de vingt ou trente se grouper devant l'entrée adjacente du sporange ; ils font alors des efforts, réitérés souvent pendant près d'une heure, pour tâcher de s'insinuer dans le mucilage dense qui occupe cette cavité. L'apparition d'une couche membraneuse autour de ce mucilage est l'indice du succès de la fécondation.

heureux pour saisir sur un prothallium d'Aspidium Filix-mas, la pénétration des anthérozoïdes dans l'organe femelle [1]. Les hélices ciliées arrivées à l'entrée de celui-ci franchissent le col du sporange en se frayant un passage à travers le mucilage qui l'obstrue, puis, arrivés dans le sein de la cavité génératrice, ils oscillent pendant un temps plus ou moins long autour du pôle libre et notablement ramolli de la sphère organisable qu'elle renferme. La cessation des mouvements coïncide avec la coagulation de la surface du germe dès lors viable et susceptible de se développer : la spore fécondée grossit peu à peu jusqu'à remplir toute la cavité du sporange, puis elle se subdivise et s'allonge par multiplication de cellules, d'un côté en radicelle et de l'autre en une petite feuille enroulée en crosse qui, bientôt accompagnée de plusieurs autres semblables, arrive à constituer la plante ordinaire.

C'est donc une véritable génération alternante que nous présentent les Fougères. La spore fécondée produit par la germination un grand individu agame chargé de larges frondes fructifères ; à une certaine époque, se détachent de la face inférieure de celles-ci, un nombre incalculable de petites vésicules groupées diversement suivant les genres, mais toutes susceptibles de germer et de donner naissance à autant de proembryons ou d'individus sexués : de sorte que d'une seule spore fécondée sortent en définitive des milliers de germes multiplicateurs [2].

Chez plusieurs Algues confervoïdes, nous constatons un phénomène du même ordre, mais s'opérant sur une échelle plus étroite et par l'emploi de procédés moins dispendieux. La spore fécondée des Sphéroplées, des Saprolegnies [3], des Œdogonies [4], des Bolbo-

[1] M. Leszcyc-Suminski a aussi, de son côté, observé la pénétration des anthérozoïdes dans le sporange du *Pteris serrulata*.

[2] Dissémination des vésicules multiplicatrices. — Germination de ces vésicules et formation du prothallium ou proembryon ; apparition des anthéridies et des sporanges à la surface du prothallium (individu sexué) ; fécondation des sporanges. — Germination de la spore amenant le développement de l'individu agame.—Apparition des vésicules multiplicatrices à la face inférieure des frondes ou feuilles de cet individu : telle est la série des phénomènes qui composent le cycle de la végétation chez les plantes du groupe des Fougères.

[3] Chez les Saprolegnies, les anthéridies portées à l'extrémité de rameaux secondaires viennent, par la flexion de ceux-ci, s'appliquer sur le sporange situé dans le voisinage, et y verser directement leur contenu.

[4] Les Œdogonies (οἴδος renflement ; γωνία, angle, jointure) consistent en

chaètes[1], etc., au lieu de se développer immédiatement en plantule comme celle des Vaucheria et de produire ainsi un seul individu, en engendre plusieurs dans son intérieur. Ici, la spore n'est que la cellule-mère d'un certain nombre de zoospores semblables à celles que produisent directement les rameaux végétatifs des mêmes Algues et se comportant absolument de la même manière. Ce fait remarquable ne trouve son analogue que dans la pluralité d'embryons offerte par les œufs des Animaux connus sous le nom de Planaires.

Un autre exemple de rencontre avec le règne animal nous est encore fourni par les mêmes Bolbochaètes et Œdogonies : ces Confervoïdes reproduisent en effet les dispositions organiques qui président à l'accomplissement des fonctions reproductrices de certains Vers. Dans notre article sur les Vers migrateurs (voy. *Annuaire*, 1865) nous avons parlé incidemment de ce curieux Helminthe à sexes séparés, le Syngame trachéen, chez lequel l'individu mâle, extrêmement petit, est soudé d'une manière permanente à l'individu femelle : or, chez les Algues en question, des individus nains, chargés de la préparation des anthérozoïdes, sont aussi fixés en parasites sur la plante dont ils doivent plus tard vivifier les germes.

La fécondation, si longtemps niée chez les plantes du dernier embranchement, présente donc déjà, outre une tendance manifeste à généraliser son intervention, un polymorphisme qui semble vouloir ne le céder en rien à celui que nous offre le règne organique supérieur. La rapidité avec laquelle se succèdent aujourd'hui les découvertes physiologiques, donne l'espoir de bientôt réussir à combler les quelques lacunes qui subsistent encore çà et là dans nos connaissances touchant les relations de cet acte remarquable avec la génération des Cryptogames.

E. Vignes.

filaments simples, cloisonnés, remarquables par les stries annulaires qui se trouvent dans le voisinage des cloisons.

[1] La seule espèce connue de Bolbochaète (βολβός, bulbe ; χαίτη, crin) forme sur les plantes des eaux douces et dormantes de petites touffes d'environ un millimètre de hauteur, d'un aspect gélatineux. Les cellules qui terminent leurs ramifications déliées sont allongées en forme de soies hyalines et dilatées à leur partie inférieure en manière de bulbe.

PHYSIOLOGIE

LA PHYSIOLOGIE

DANS SES RAPPORTS AVEC LA SCIENCE MODERNE

I

Du rang de la physiologie dans les sciences médicales. — Lente évolution de la physiologie. — La météorologie et la physiologie sont des sciences analogues, elles doivent suivre la même méthode. — Parallèle entre ces deux sciences. — Rôle des instruments dans chacune d'elles.

La physiologie a été pendant longtemps considérée comme une science accessoire à la médecine. Si aujourd'hui, dans les cadres de l'enseigement officiel, elle n'a pas encore été entièrement relevée de ce rang secondaire, ce n'est pas que l'opinion publique n'ait protesté en sa faveur. A part quelques esprits rétrogrades, qui croient que la perfection en médecine consiste à conserver pures les traditions hippocratiques, les maîtres d'aujourd'hui professent et pratiquent une médecine basée sur la physiologie. Ils s'accordent sur ce point : que les maladies ne se traduisent à nous que par des troubles dans les fonctions de la vie, et que, par conséquent, avant toute médecine, il faut connaître ces fonctions dans leur état normal, afin de savoir en quoi elles sont troublées chez les malades et comment on peut les ramener à leur exercice régulier.

Quelque logique que puisse paraître cette conclusion, elle ne s'est imposée que bien tard. Les sciences ne peuvent pas toutes se développer avec logique et méthode ; la médecine, à ce point de vue, fut une des plus mal partagées. Mis en demeure de guérir des malades, les médecins durent, avant tout, administrer des remèdes. Une infinité de substances furent essayées au hasard, et, comme toute persévérance est payée de succès, on finit par dé-

couvrir des médicaments efficaces. L'empirisme, ce long tâtonnement de l'humanité, devint une méthode, et ce ne fut pas la plus mauvaise. En effet, dans la suite, le besoin de grouper les connaissances acquises enfanta les systèmes qui égarèrent les esprits. Une vérité démontrée dut s'effacer si elle heurtait la doctrine; celle-ci, qui gênait jusqu'à l'empirisme, traitait de bien haut la physiologie. Quel esprit oisif avait alors le temps de se demander ce qui se passe en nous quand nous nous portons bien?

Aussi combien de siècles n'a-t-il pas fallu pour que des chercheurs isolés aient réussi à comprendre quelques-unes des fonctions de la vie, pour qu'ils aient pu faire accepter leurs découvertes. Chacune d'elles, bien souvent, renversait un système; mais sur les ruines de celui-ci s'en élevait un autre, moins défectueux, il est vrai, et surtout moins intolérant. Ainsi la physiologie a pu grandir peu à peu et conquérir sa place légitime; elle ne relève plus aujourd'hui que de l'observation rigoureuse et de l'expérience.

Aux causes que je viens de signaler, et qui ont rendu si lente l'évolution de la physiologie, il faut encore en ajouter une, la plus importante peut-être : l'imperfection des moyens d'étude.

Fille de l'anatomie, la physiologie fut d'abord presque entièrement déductive : de la forme des organes, on concluait leur usage probable. Assurément les notions anatomiques ont souvent préparé des découvertes en physiologie. La connaissance des valvules des veines fit prévoir l'existence de la circulation du sang; la disposition des muscles par rapport au squelette permet presque de déduire les mouvements que chacun de ces muscles doit produire; mais, pour la plupart des viscères, l'aspect de l'organe sur le cadavre ne révèle rien de sa fonction. Qu'on se figure un chronomètre brisé tombant aux mains d'un sauvage; l'idée que cet homme primitif se fera de ce merveilleux mécanisme et de sa destination n'est pas plus imparfaite que la plupart des notions physiologiques basées sur l'anatomie pure.

Frappés de l'insuffisance de la méthode déductive, de hardis observateurs voulurent surprendre les organes pendant leurs fonctions; ils disséquèrent des animaux vivants.

C'est là ce que le monde n'a pu pardonner à notre science. La vivisection est taxée de barbarie, malgré l'importance des résultats qu'elle a fournis. Et pourtant, s'ils n'eussent ouvert des ani-

maux vivants, Aselli n'eût pas découvert le rôle des vaisseaux chylifères ; Harvey n'eût pu démontrer sa découverte de la circulation du sang ; Magendie et Ch. Bell n'eussent pas reconnu les origines distinctes des nerfs sensitifs et des nerfs moteurs. Enfin toutes les grandes découvertes dont la médecine s'honore, et dont l'humanité profite, n'auraient pas encore vu le jour. Les adversaires des vivisections sont peu touchés de ces arguments ; dans les questions de sentiment, la raison n'a guère de puissance. On les apaiserait davantage en leur faisant remarquer que les vivisections sont aujourd'hui dégagées en grande partie de ce qu'elles avaient de cruel ; que la douleur est ménagée autant que possible aux animaux que la science est forcée d'immoler.

Je crois pouvoir aller plus loin et prédire que, dans un avenir peu éloigné, les vivisections devront presque entièrement disparaître de l'expérimentation physiologique. Elles se réduiront tout au plus à quelques opérations légères, peu douloureuses, troublant le moins possible les fonctions de l'animal sur lequel il faudra expérimenter. Les vivisections disparaîtront non-seulement parce qu'elles sont cruelles, mais surtout parce qu'elles sont défectueuses, et qu'on pourra leur substituer des moyens plus parfaits. Au règne brutal du scalpel et des mutilations succèdera celui d'appareils délicats appropriés à des études plus exactes.

Tout le monde a pu constater cette tendance de la physiologie moderne à se rapprocher de la physique, à laquelle elle a déjà emprunté une partie de ses instruments. Les progrès accomplis, grâce à cette méthode, ne peuvent que la faire étendre encore plus à l'avenir. C'est dans cette voie que marche la météorologie, une autre science d'observation et d'expérience ; on sait quels immenses progrès en sont résultés pour elle. Qu'on me permette d'esquisser en quelques mots la marche de cette science ; ce n'est pour ainsi dire pas sortir de mon sujet.

L'étude de notre planète et des phénomènes dont elle est le théâtre correspond assez exactement à celle de l'organisme vivant et de ses fonctions. — La terre a son *anatomie descriptive :* c'est la géographie physique, qui nous apprend la disposition générale de la planète ; la répartition des terres et des mers, avec les diverses altitudes des unes, les diverses profondeurs des autres ; le cours des rivières et des fleuves, qui rampent à la surface terrestre comme les veines dans nos organes, etc. — La terre a son *anato-*

mie de structure : c'est la géologie proprement dite, qui, d'après la composition des terrains, les rattache à différents types, ainsi qu'on fait pour les tissus vivants. Le géologue, comme l'anatomiste, ne se borne pas à l'apparence extérieure ; mais il soumet chaque partie à l'analyse chimique, explore les densités, observe au microscope les détails de structure. L'*Embryogénie* elle-même trouve son analogue dans la science qui s'occupe de l'évolution du globe et de la genèse des différentes couches terrestres. De part et d'autre, même méthode, même induction de ce qui se passe sous nos yeux à ce qui a dû se passer à une époque inaccessible à notre observation.

Si nous passons à la *Physiologie* du globe, l'analogie augmente encore ; on peut dire que la météorologie nous révèle les fonctions qui constituent la vie de notre planète. Que le lecteur se reporte à la préface du livre de Marié-Davy, le plus bel ouvrage que nous ayons sur ce sujet, il y verra comment l'auteur, médecin en même temps que météorologiste, a compris et exposé cette perpétuelle circulation des eaux qui abandonnent les mers sous forme de vapeur, s'en vont au loin, condensées en nuages, et, retombant sur la terre, sont ramenées par les rivières et les fleuves aux mers d'où elles étaient parties. L'atmosphère est le siége d'une circulation aérienne très-analogue ; la zone équatoriale est l'aboutissant commun des vents alizés inférieurs et le point de départ de vents d'une direction opposée, les alizés supérieurs, qui s'en retournent aux régions polaires, d'où ils reviendront encore.

La répartition de la chaleur terrestre présente avec celle de la chaleur animale une parfaite ressemblance : même tendance au refroidissement des points qui s'éloignent des régions centrales, même transport du calorique par la circulation de liquides échauffés. Enfin, plus on étudie les lois de la répartition de la chaleur animale, plus on voit de ressemblance entre ces phénomènes vitaux et ceux que nous révèle la météorologie.

Dans ce parallèle de la physiologie et de la météorologie, j'ai voulu montrer que ces deux sciences, s'occupant de phénomènes analogues, devaient progresser par l'emploi de moyens analogues aussi.

La météorologie peut aujourd'hui nous servir de modèle, grâce aux progrès qu'elle vient de réaliser dans ces dernières années. Cette science a, comme la médecine, traversé une phase illogique

dans laquelle la *prévision des temps* essayait de se fonder tout d'une pièce sans passer par les études préparatoires indispensables. Tant qu'on suivit cette marche, on n'arriva qu'à de bien faibles résultats : quelques notions empiriques complétement insuffisantes aux besoins de l'humanité, et beaucoup d'erreurs dont les observations rigoureuses ont fait justice. Exploitée par des imposteurs qui la discréditaient, la météorologie semblait tombée aux mains des faiseurs d'almanachs. Tout à coup nous la voyons surgir et s'élever presque sans transition au rang des sciences avancées et utiles.

L'heure de la météorologie était venue. Des hommes éminents, préparés depuis longtemps à l'observation rigoureuse, armés d'instruments perfectionnés, s'étaient mis à l'œuvre. De leurs efforts réunis une science est sortie.

S'il suivait dans leur œuvre les heureux rénovateurs de la météorologie, le physiologiste trouverait de précieux exemples à suivre. Les météorologistes ont compris tout d'abord la nécessité de recourir à des instruments exacts pour apprécier avec certitude les phénomènes qu'ils voulaient étudier. Chacun se munit du thermomètre, de l'hygromètre, du baromètre; on créa de nouveaux appareils : le pluviomètre, l'anémomètre, les électromètres, etc. Tels furent les instruments que chaque météorologiste devait employer pour observer les phénomènes atmosphériques et recueillir des documents qui seraient réunis plus tard dans un travail d'ensemble. Tous ces appareils réglés d'après un étalon commun devaient fournir des indications bien comparables entre elles.

Mais il eût fallu une armée d'observateurs pour surveiller dans chaque station météorologique la marche de ces instruments, et l'on ne pouvait disposer que d'un personnel peu nombreux. Comment dès lors pourra-t-on suivre à chaque instant du jour et de la nuit les indications de chaque appareil? Comment pourra-t-on noter avec exactitude les plus légères variations de la force du vent ou de sa direction, de la température, de la pression barométrique, etc. Un ingénieux artifice leva toutes les difficultés; chaque appareil fut transformé en un observateur infatigable qui enregistre incessamment ses indications.

Une même disposition préside à l'établissement de tous les appareils enregistreurs : c'est celle que le général Poncelet ima-

gina il y a 30 ans à peine pour enregistrer le mouvement de la chute des corps. Qu'on suppose un cylindre recouvert de papier et tournant autour de son axe vertical par l'effet d'un mouvement d'horlogerie. Le cylindre fait un tour en vingt quatre-heures et, pendant ce temps, une plume frotte continuellement sur le papier qui l'enveloppe. Si la plume restait immobile, elle tracerait autour du cylindre une ligne circulaire horizontale; mais si la plume s'élève ou s'abaisse suivant les mouvements du baromètre par exemple, la ligne qu'elle tracera présentera des ondulations; celles-ci, d'après leur élévation et leur longueur exprimeront l'intensité et la durée des variations barométriques survenues pendant un jour. La même disposition peut s'appliquer à un grand nombre d'instruments.

Voilà donc chaque station météorologique en mesure de fournir l'ensemble complet des observations. Reste à faire converger ces documents épars et à en tirer une vue d'ensemble sur l'état atmosphérique du globe à un moment donné. Pour cela des cartes synoptiques sont dressées. Sur un planisphère on note par exemple la température d'un grand nombre de stations à un même moment. Les lignes isothermes tracées sur ces cartes permettent de saisir au premier coup d'œil la distribution des températures à la surface de la terre, etc. La même méthode appliquée à la pression barométrique nous montre que les lignes de même pression affectent souvent la forme de cercles concentriques, les pressions les plus basses occupant le centre; comme si notre atmosphère présentait une vaste excavation circulaire. Pendant ce temps, les vents sont animés d'un mouvement tournant, dont le sens est toujours le même. C'est autour du centre de la dépression atmosphérique que cette rotation s'exécute. Enfin, des cartes dressées plusieurs jours de suite nous montrent que ces tourbillons ou *cyclones* sont animés d'un mouvement de translation qui des régions équatoriales de l'Atlantique les porte sur les côtes occidentales de l'Europe.

Je m'arrête; il me suffit d'avoir rappelé un des grands résultats obtenus par la météorologie, d'avoir montré la puissance d'une bonne méthode appliquée à une science d'observation. Quelle magnifique récompense, quel encouragement à de nouveaux efforts, lorsque, pour prix de son travail, l'homme assiste à l'un de ces grands spectacles qui ont le globe entier pour théâtre; lorsque se

créant pour ainsi dire des sens nouveaux, il embrasse par l'intelligence un horizon sans limites !

L'humanité profite toujours des grandes découvertes; la météorologie a déjà largement payé sa dette sous ce rapport[1].

Cette digression dans le domaine de la météorologie n'aura pas été inutile si j'ai réussi à montrer que la physiologie étant une science de même ordre atteindra par une méthode analogue un perfectionnement rapide. Les mêmes jouissances intellectuelles sont promises au chercheur : il pourra contempler de plus en plus clairement la merveilleuse harmonie des fonctions de l'organisme vivant. Une utilité pratique plus grande encore couronnera ses travaux qui feront faire à la médecine de nouveaux progrès.

II

La vie, c'est le mouvement. — Mouvements primitifs et secondaires. — Agent nerveux. — Sa vitesse de propagation dans les nerfs. — Expériences de Helmholtz. Perfectionnements de la méthode.

Il n'est pas possible de donner en quelques pages une idée même sommaire de l'ensemble de la physiologie. Nous laisserons donc de côté ces admirables recherches d'optique et d'acoustique dans lesquelles la physique se confond pour ainsi dire avec la physiologie et lui donne ce caractère de précision si satisfaisant pour l'esprit. Nous ne suivrons pas non plus le physiologiste dans les applications si fécondes de la chimie organique à la connaissance des fonctions digestives, des sécrétions et de la nutrition. Chacun de ces vastes sujets pourra être plus tard l'objet d'un article spécial. Je ne m'occuperai aujourd'hui que des phénomènes de mouvement qui se passent au sein de l'organisme.

On peut dire que dans sa manifestation la plus essentielle, *la vie, c'est le mouvement ;* de même que l'immobilité absolue est le signe certain de la mort. Il ne s'agit pas seulement ici de ce mouvement de l'individu tout entier par lequel il se transporte d'un lieu dans un autre, ce qui constitue la locomotion proprement dite. Mais chez les animaux les plus immobiles en apparence, les fonctions s'accompagnent presque toutes de mouvements

[1] Voyez dans l'*Annuaire* de 1866, *Les progrès de la météorologie*, par M. Margollé.

qui sont indispensables à l'entretien de la vie. Tels sont les mouvements respiratoires, les battements du cœur et des artères, les accélérations et les ralentissements du sang dans les organes, les contractions de l'intestin, etc. On peut dire que dans l'organisme vivant rien n'est immobile, les conduits des glandes, le tissu glandulaire lui-même, le foie, la rate, les reins, tout est susceptible de se resserrer et de s'étendre. Mais, si le mouvement règne partout, il revêt en chaque point des caractères particuliers : tantôt il est d'une rapidité extrême, et tantôt d'une lenteur si grande qu'il échappe à l'observation. L'insuffisance de nos sens à apprécier les mouvements très-rapides et ceux qui sont très-lents a constitué pendant longtemps un obstacle insurmontable dans les recherches de physiologie; mais aujourd'hui que les physiciens savent apprécier la vitesse de la lumière et celle de l'électricité, il ne saurait y avoir de difficulté sérieuse à mesurer les phénomènes les plus rapides qui se passent dans l'organisme. L'étude des mouvements très-lents semble avoir moins séduit les physiciens et les physiologistes et cependant elle présente au moins autant d'intérêt et d'importance ; il serait facile de le prouver.

Un caractère commun à tous les mouvements qui se passent chez les animaux, c'est qu'ils ont une même origine. Tous proviennent d'une *contraction*, c'est-à-dire du raccourcissement d'un tissu particulier dont le type est le tissu musculaire. Parfois le mouvement se transmet si loin du muscle qui l'a produit qu'on en pourrait méconnaître l'origine véritable. C'est ainsi que les anciens, en observant ces battements des artères qu'ils ont nommés le pouls, croyaient que chacun de ces mouvements prenaient naissance dans les vaisseaux mêmes. Ils étaient loin de se douter que chaque pulsation observée, soit au poignet, soit aux artères du pied, était une manifestation lointaine de la contraction du cœur.

On sait aujourd'hui distinguer des mouvements de deux ordres: les mouvements primitifs qui appartiennent en propre aux êtres vivants et se réduisent tous à une contraction plus ou moins forte, plus ou moins rapide ; les mouvements secondaires qui sont la conséquence mécanique des premiers. Soit que le muscle, en se contractant, imprime une impulsion aux pièces solides du squelette, soit qu'il pousse des liquides dans des vaisseaux, soit qu'il mette en mouvement des gaz, comme cela arrive dans la respiration, dans tous les cas, le mouvement secondaire obéit aux lois physi-

ques. La partie la plus mystérieuse des mouvements de la vie est donc leur origine même au sein du tissu contractile, c'est là que nous allons les étudier.

Pour qu'un mouvement volontaire se produise, il faut qu'une série d'actes se succèdent dans l'ordre suivant : un message émane du cerveau; il chemine à travers les nerfs, comme le courant électrique dans le fil d'un télégraphe; il arrive jusqu'au muscle et lui apporte l'ordre de se contracter. Si rapide que soit la succession de ces phénomènes, cette succession est absolument nécessaire.

C'est à Helmholtz qu'appartient l'idée hardie de mesurer la vitesse de l'action nerveuse, et c'est cet illustre physiologiste qui, le premier, réussit à déterminer cette vitesse. Comme surcroît de démonstration, Helmholtz employa plusieurs méthodes à la solution de ce problème; je n'en citerai qu'une, celle qui est à la fois la plus simple et la plus sûre dans ses résultats ; la méthode graphique.

On connaît l'action remarquable de l'électricité sur les nerfs et l'on sait que cet agent peut remplacer l'influence de la volonté, en ce sens que si l'on applique à un nerf une excitation électrique, l'action nerveuse est mise en jeu et provoque une contraction dans le muscle auquel se rend le nerf excité. — Le lecteur connaît déjà la disposition des appareils enregistreurs employés par les météorologistes; c'est au moyen d'une disposition très-analogue que fut mesurée la vitesse de l'action nerveuse.

Sur un cylindre tournant devront s'écrire deux signaux : l'un indiquant le moment où l'excitation électrique se produit, l'autre marquant l'instant où le muscle commence à se contracter. A cet effet, deux pointes sont placées en face du cylindre et disposées verticalement l'une au-dessus de l'autre. La première touchera le cylindre au moment précis où sera fermé le courant électrique destiné à exciter le nerf. La deuxième, mise en mouvement par le muscle lui-même, viendra marquer à son tour le début de la contraction. — Si le cylindre était immobile, les deux pointes laisseraient leurs traces sur une même ligne verticale; mais il est animé d'une rotation extrêmement rapide, de sorte que, s'il existe le moindre intervalle entre l'excitation du nerf et la contraction du muscle les deux signaux ne seront plus superposés, car le cylindre aura tourné d'une certaine quantité pendant cet intervalle. Or c'est

ce qui est arrivé dans les expériences de Helmholtz. Étant connue la vitesse de rotation, il est facile de traduire en fractions de seconde la distance linéaire qui séparait l'un de l'autre les deux phénomènes enregistrés. Si cette vitesse est de dix tours par seconde, et si l'intervalle qui sépare les deux signaux représente $\frac{1}{100}$ de la circonférence du cylindre, c'est $\frac{1}{1000}$ de seconde qui correspondra à la durée de cet intervalle.

On pourrait croire la question tranchée par cette première expérience et considérer le temps écoulé entre les deux signaux comme exprimant la durée du transport de l'action nerveuse du point excité au muscle qui réagit. Helmholtz ne s'est pas contenté de ce premier résultat et on va voir qu'il a eu raison.

En effet, entre le moment où l'action nerveuse est arrivée au muscle et le moment où celui-ci se contracte, il existe un intervalle qu'on nomme *temps perdu*, pendant lequel le muscle, excité déjà par le nerf, ne réagit pas encore. Voici comment se démontre l'existence de ce *temps perdu*.

Supposons qu'une première expérience ait été faite en agissant sur le nerf à 10 centimètres de sa terminaison dans le muscle, et qu'on ait trouvé, entre l'excitation du nerf et la contraction du muscle un intervalle de $\frac{1}{31}$ de seconde. — Recommençons une nouvelle expérience en agissant plus près du muscle, à 2 centimètres par exemple. On trouve alors que le retard de la contraction n'est plus que de $\frac{1}{35}$ de seconde ; or, la différence entre ce retard et le premier résulte nécessairement du plus long chemin que l'action nerveuse a dû parcourir dans le premier cas ; elle exprime nécessairement le temps employé par l'action nerveuse à parcourir 8 centimètres du nerf. Ce temps serait ici de $\frac{1}{271}$ de seconde, ce qui porterait la vitesse de l'agent nerveux à 21 mètres environ par seconde. En évaluant ainsi la vitesse du courant nerveux, on arrive à prévoir le temps qui s'écoulera entre l'excitation d'un nerf dont la longueur est connue, et la contraction du muscle correspondant. Or, le retard réel de la contraction est toujours plus grand que le retard théorique, et cela d'une quantité constante, $\frac{1}{30}$ de seconde environ. Cette quantité correspond précisément au *temps perdu* qui vient d'être signalé tout à l'heure; on voit qu'il est considérable, relativement au temps très-court employé par la transmission de l'agent nerveux.

J'ai cherché à donner une idée de la méthode employée par

Helmholtz, mais je n'ai pu décrire la disposition fort compliquée des appareils, ni signaler certaines difficultés pratiques qui ont empêché ces belles expériences d'êtres reprises par d'autres physiologistes. Du reste, depuis l'époque où ces travaux furent publiés, la méthode graphique a fait de grands progrès, particulièrement en ce qui concerne la mesure du temps. J'ai donc pensé qu'on pouvait aujourd'hui reprendre ces expériences, leur donner encore plus de précision et les rendre plus faciles à exécuter. Voici la disposition que j'ai donnée aux appareils.

1° *Évaluation des temps.* Toutes les expériences graphiques supposent que la surface sur laquelle on enregistre est animée d'un mouvement parfaitement uniforme. Or, jusqu'à ces derniers temps, où M. Foucault construisit son excellent *régulateur*, on n'avait qu'une uniformité assez imparfaite. Wertheim rendit un grand service à la chronoscopie en introduisant l'emploi du diapason dont les vibrations s'enregistrent pendant la durée de l'expérience. On sait avec quelle précision on peut aujourd'hui régler un diapason par la méthode optique de M. Lissajoux; on peut donc, d'après le nombre de vibrations inscrites sur un cylindre, apprécier avec exactitude des cinq-centièmes de seconde et même subdiviser ces durées. — Je pris pour enregistrer les phénomènes nerveux un cylindre léger, ou un disque de verre enfumé dont j'appréciais la vitesse de rotation au moyen d'un diapason de 500. Dans la figure 2 ces vibrations sont représentées à la circonférence du disque. Pour apprécier la durée d'un phénomène, il suffit de mener les rayons par les deux signaux qui expriment son commencement et sa fin. Le nombre des vibrations du diapason qui sera compris dans l'angle formé par ces rayons exprimera exactement la durée du phénomène.

2° *Production des signaux.* L'appareil destiné à signaler l'instant de l'excitation électrique et celui de la contraction musculaire est représenté figure 1. — Une plaque carrée de cuivre est fixée sur un support vertical. Sur cette plaque est étendu un muscle de grenouille adhérent d'une part au fémur qu'une pince P maintient solidement. Le tendon C du muscle est fixé d'autre part par un crochet au petit bras d'un levier coudé dont la longue branche *lm* frotte par son extrémité pointue sur la surface du disque D. Chaque mouvement du muscle déviera ce levier et tracera sur le disque l'indication de la contraction musculaire. Le nerf qui doit être ex-

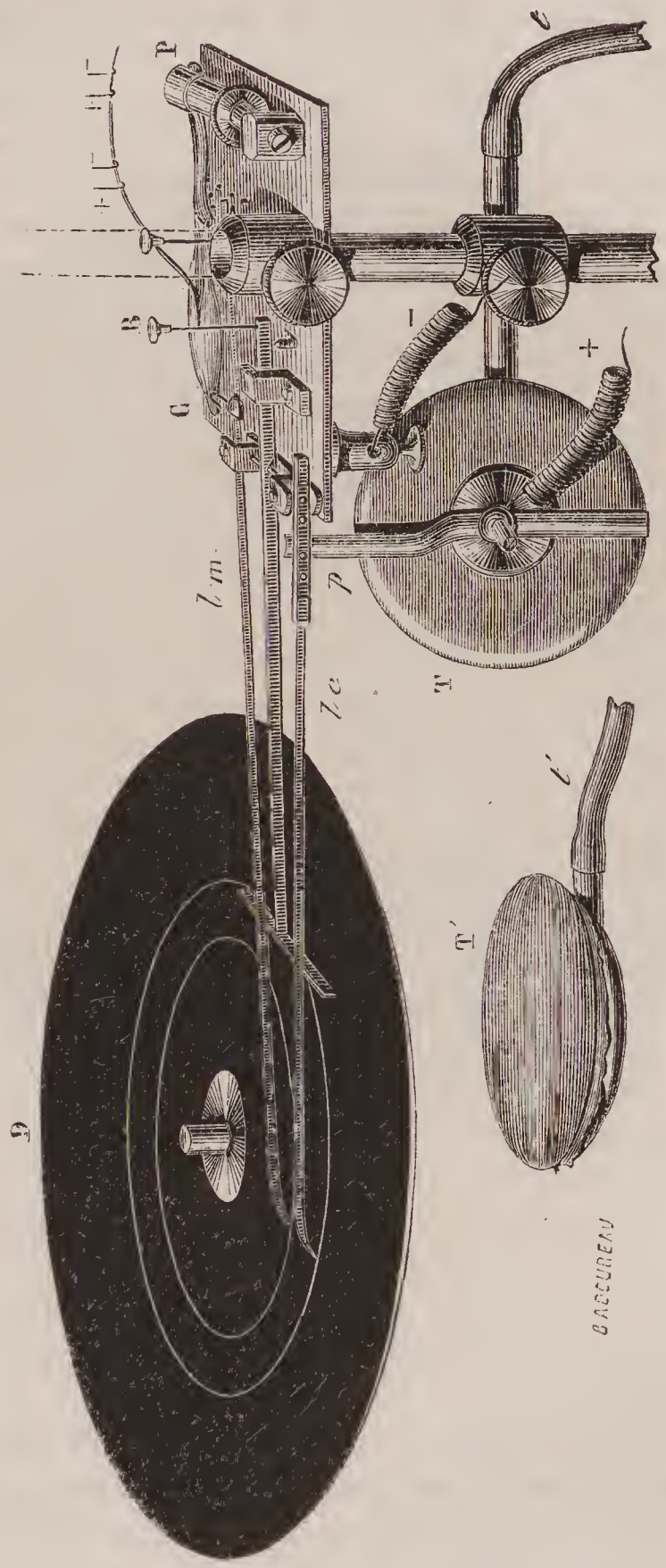


Fig. 1.

cité est représenté soulevé en l'air et reposant sur de petits crochets métalliques qui sont les pôles du courant électrique excitateur.

A côté du *levier musculaire lm*, il en est un tout semblable *lc* destiné à signaler le contact par lequel sera fermé le courant électrique excitateur. Ce levier, à sa base, est formé d'une pièce métallique en communication avec un des pôles de la pile ; de plus cette base est flexible. A un moment donné, on fait battre contre lui une pièce métallique *p* qui communique avec l'autre pôle de la pile. Ce choc en fermant le circuit voltaïque déviera le levier contact de sorte que l'instant précis de l'excitation électrique sera signalé par la déviation du levier *lc*. Je ne décrirai pas la disposition qui permet de produire à l'instant voulu la clôture du courant électrique et son signal[1].

On voit que les deux pointes des leviers placées l'une à côté de l'autre traceront, tant qu'elles seront immobiles, deux cercles concentriques. Au moment où l'on fermera le circuit, le levier contact se déviera et sera bientôt suivi par le levier musculaire qui entrera en mouvement à son tour. L'intervalle entre ces deux phénomènes se traduira facilement en fractions de seconde au moyen du graphique du diapason. La figure 2 montre le graphique obtenu dans les deux temps consécutifs de l'expérience. Une première excitation est portée sur le nerf au point le plus éloigné du muscle. Les signaux obtenus sont C pour l'excitation électrique et M pour la contraction musculaire ; leur intervalle correspond au temps qui s'est écoulé entre ces deux actes lorsqu'on a agi sur le *nerf long*, c'est-à-dire en excitant le nerf le plus loin possible du muscle. — L'expérience faite sur le *nerf court* donne les signaux C′ et M′. — En évaluant, d'après le tracé du diapason, les durées des deux expériences, on trouve que le nerf long a donné un retard d'environ $\frac{1}{800}$ de seconde plus grand que celui qu'a donné le nerf court. La différence de longueur du nerf était de 4 centimètres ; on peut déduire de là que l'action nerveuse a cheminé avec une vitesse de 20 mètres par seconde.

Ce chiffre de 20 mètres environ par seconde n'a rien d'absolu, et peut sous différentes influences varier dans certaines limites.

[1] Voyez *Revue des cours scientifiques*, 1865, n° 21.

Dans tous les cas, il faut reconnaître que l'agent nerveux n'a qu'une vitesse bien minime, si on la compare avec celle de l'électricité avec laquelle il présente d'ailleurs bien des analogies.

Fig. 2.

III

La contraction musculaire est le phénomène vital par excellence. — La contraction musculaire n'est pas un acte simple, mais résulte d'une série de vibrations. — De la *secousse* ou vibration musculaire. — Interférence des secousses, production de la contraction. — Conditions qui font varier la contraction musculaire.

Nous n'avons encore étudié qu'une partie de l'acte physiologique par lequel se produit le mouvement, que se passe-t-il dans le muscle lorsque l'agent nerveux qui le sollicite à la contraction est arrivé jusqu'à lui ?

L'acte musculaire se traduit à nous par des phénomènes de différents ordres. L'état électrique du muscle se modifie ; des actions chimiques se passent en même temps et changent la composition du muscle qui prend la réaction acide, d'alcalin qu'il était ; enfin, des phénomènes mécaniques se produisent, c'est eux qui constituent la manifestation la plus importante de l'acte musculaire; nous allons les examiner.

La contraction d'un muscle nous apparaît comme un raccourcissement plus ou moins prolongé et plus ou moins intense de cet organe. Jusqu'ici ce phénomène avait été considéré comme un acte simple, unique, susceptible de varier seulement en durée et en intensité. On peut démontrer aujourd'hui que la contraction d'un muscle est un phénomène complexe, constitué par une infinité de petites secousses musculaires qui se fusionnent entre elles. Les choses se passent comme dans la production des sons, où une impression continue nous est fournie par une série de vibrations alternatives.

C'est à l'année 1809 qu'il faut remonter pour trouver la première idée de la complexité de la contraction musculaire. Le docteur Wollaston étudiait les sons que produisent les muscles en contraction, il arriva à reconnaître une certaine tonalité dans ce qu'on appelait le bruit musculaire. Haughton détermina cette tonalité et la considéra comme correspondant au son fourni par 32 vibrations par seconde. D'autres expérimentateurs confirmèrent ce fait. Enfin, tout récemment, Helmholtz prouva que si l'on applique à un muscle des excitations électriques au nombre de 32 par seconde le muscle au lieu de réagir pour chacune de ces excitations paraît se maintenir pendant toute la durée de l'expérience dans un état de tétanos ou contraction permanente. Heidenhain avait déjà vu qu'en percutant un nerf à petits coups fréquemment repétés on pouvait mettre le muscle correspondant en état de tétanos.

Est-ce à dire que dans cet état du muscle il y avait immobilité parfaite de l'organe? Non, car Helmholtz a parfaitement signalé que ce muscle tétanisé rend un son dont la tonalité correspond au nombre même des excitations électriques qui lui ont été appliquées. Le muscle tétanisé vibre donc, et si ses vibrations échappent à notre vue, notre oreille du moins peut encore en percevoir l'existence et la fréquence.

L'emploi de la méthode graphique permet de pousser bien plus

loin l'analyse de la contraction musculaire, et de saisir le mécanisme par lequel cette contraction se produit.

Tous les physiologistes ont bien remarqué la commotion soudaine que provoque dans un muscle une décharge électrique. Ce petit mouvement convulsif, c'est l'élément constitutif de la contraction musculaire ; il joue le même rôle que la vibration isolée dans la production d'un son. J'appellerai *secousse* ce phénomène élémentaire réservant le nom de contraction à la résultante des secousses multiples.

Si l'on étudie la secousse musculaire au moyen de la méthode graphique[1], on voit qu'un muscle se modifie peu à peu par son action même et que, dans une série de secousses provoquées par des excitations électriques semblables, les premières sont plus brèves, les dernières plus prolongées. Ce fait déjà connu des physiologistes m'a paru se traduire si nettement par la méthode graphique qu'il prend, ainsi exposé, un intérêt particulier. La figure 3 représente une série de graphiques superposés dont chacun est une secousse musculaire. Les vibrations d'un diapason de 400 sont écrites au bas de la figure et servent à apprécier la durée de chaque secousse. Celles-ci, au nombre d'une centaine environ, sont enregistrées de telle sorte que la première soit au bas de la figure, et la dernière en haut. On voit combien est graduelle la transformation de la fonction du muscle. Les phénomènes physiques ne se manifestent pas à nous avec plus de régularité que ne fait cette action vitale. Je présente ce fait comme réplique à ceux qui prétendent qu'on essayerait vainement d'appliquer les méthodes exactes à l'étude des actes de la vie qui ne les comportent point.

On voit, par la figure 3, que les secousses musculaires ont une durée constante pour un instant donné; cette durée correspond environ à $\frac{1}{300}$ de seconde pour un muscle non fatigué. Il est clair d'après cela, que si les excitations électriques se succèdent à des intervalles moindres que $\frac{7}{100}$ de seconde, la première secousse ne sera pas terminée quand la seconde apparaîtra. — Dans ces conditions, la deuxième secousse s'ajoute à ce qui restait d'effet de la

[1] Dans toutes les expériences dont il sera question ici, je me suis servi de l'appareil décrit figure 1, seulement je supprimais le levier *lc* et je n'enregistrais que les mouvements musculaires au moyen du levier *lm* qui écrivait sur un cylindre.

première ; la troisième s'ajoute à la seconde et ainsi de suite jus-

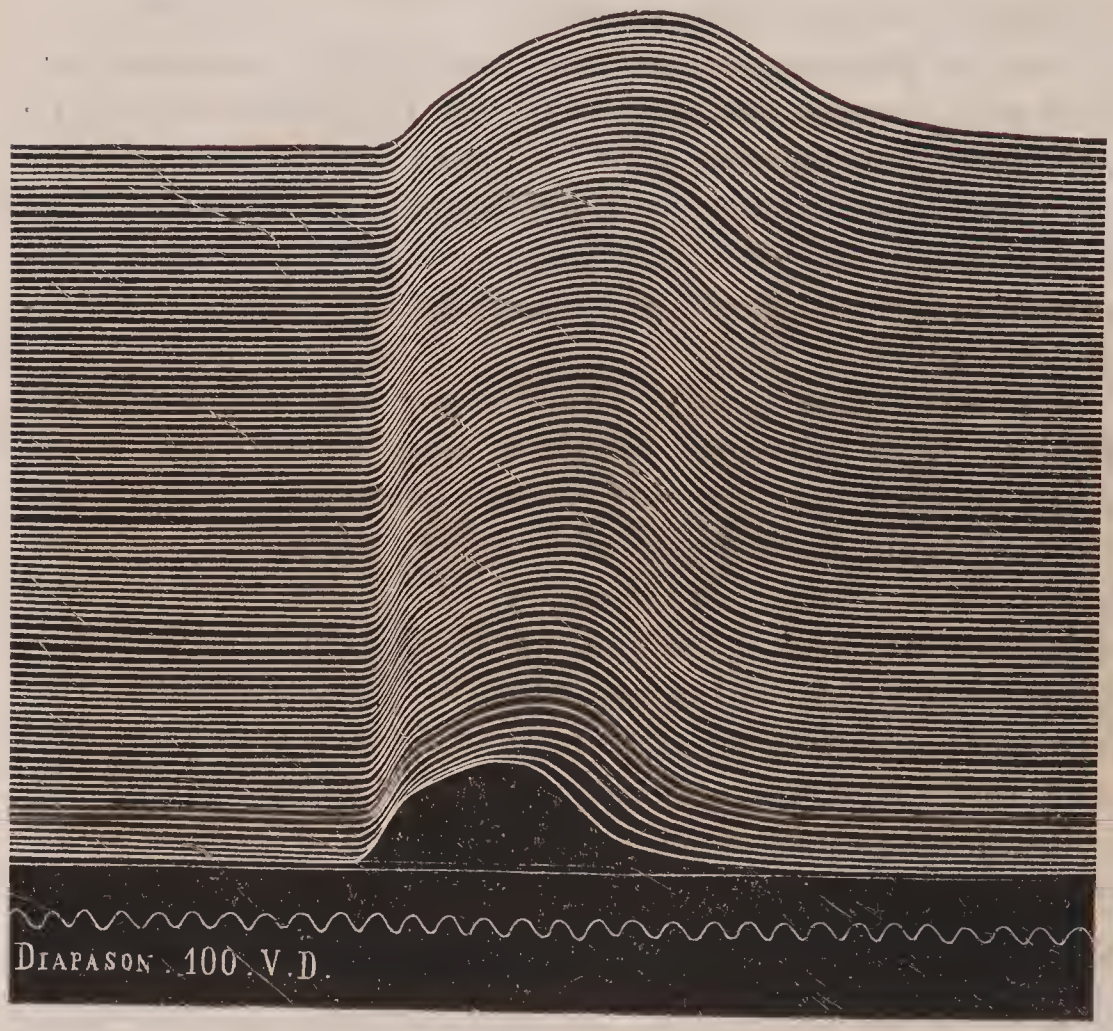


Fig. 3.

qu'à un certain point où le graphique oscille autour d'une ligne horizontale.

Fig. 4.

La figure 4 montre comment les secousses s'ajoutent ; elle fait

voir que cette addition n'est pas complète, de sorte que à un moment donné la courbe cesse de s'élever.

Avec des excitations électriques de fréquence croissante, les secousses musculaires faiblissent peu à peu et finissent par disparaître tout à fait à un certain degré de fréquence. C'est alors que le muscle est en état de *contraction* proprement dite.

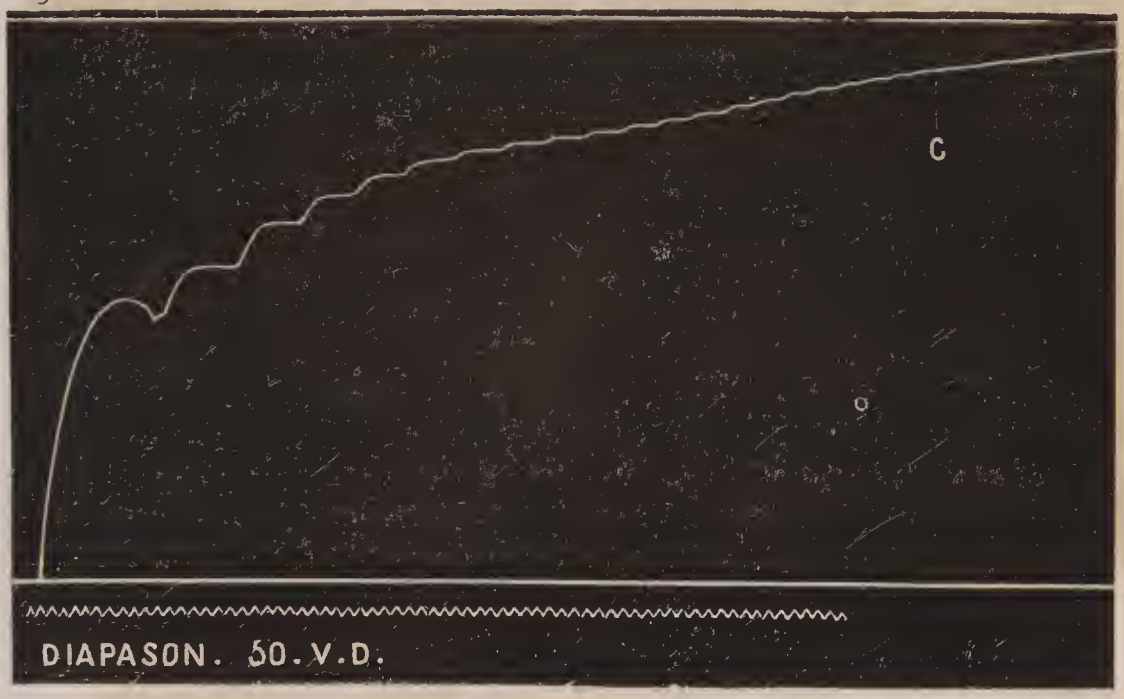


Fig. 5.

La figure 5 nous fait assister à la naissance de la contraction sous l'influence d'excitations de fréquence croissante : au point C toute vibration du muscle a disparu. On voit aussi qu'après cette disparition, l'intensité de la contraction augmente encore quand la fréquence des excitations continue à s'accroître ; c'est ce qu'exprime l'élévation continue du tracé.

On a vu (*fig.* 3) que la fatigue prolonge la durée des secousses musculaires ; or, plus les secousses seront prolongées, plus elles auront de tendance à s'ajouter les unes aux autres ; aussi faut-il des excitations bien moins fréquentes pour contracter un muscle s'il est fatigué que s'il ne l'est pas.

Enfin, chez certaines espèces animales, la secousse musculaire présente une durée très-longue, comme chez la tortue ; au lieu que chez d'autres, comme l'oiseau et le poisson, la secousse est très-brève ; ainsi il est facile de mettre en contraction un muscle de tor-

tue avec 4 excitations par seconde, tandis qu'un muscle d'oiseau peut produire 75 secousses distinctes dans le même temps sans arriver à la contraction. La figure 6 montre la différence que présentent à ce point de vue les secousses musculaires de la tortue et de l'oiseau.

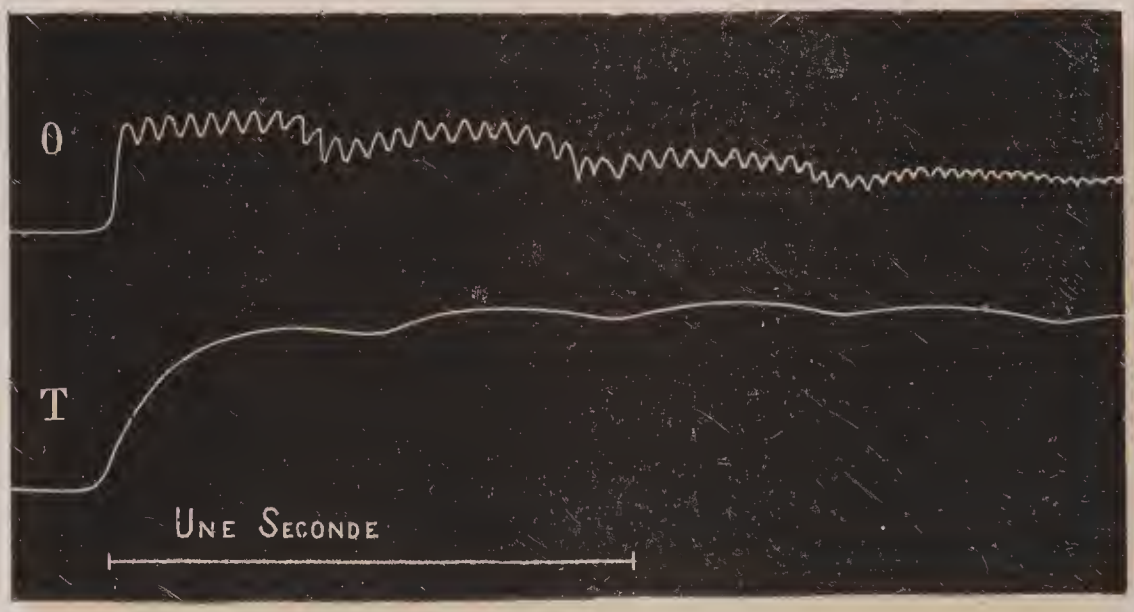


Fig. 6.

Ces expériences tendent à présenter l'acte musculaire sous un nouveau jour. Si l'espace de cet article me permettait d'en développer les conséquences, je montrerais comment la contraction, ce phénomène vital par excellence, obéit aux lois physiques du mouvement vibratoire. La physiologie vient de faire encore un pas pour se rapprocher de la physique; cette tendance, je l'ai déjà dit, s'accentue chaque jour davantage.

Tous les résultats que j'ai signalés n'ont pu être obtenus que par la méthode graphique; nos sens étaient absolument incapables de percevoir ces phénomènes que leur très-courte durée nous dérobait entièrement. Nouvelle preuve du besoin qu'ont les physiologistes de recourir aux instruments délicats.

Avant de finir, je veux me laver d'un reproche que le lecteur n'aura pas manqué de me faire. « Quoi, dira-t-il, vous annoncez que les vivisections doivent disparaître qu'elles constituent un procédé défectueux, et vous ne nous parlez que de nerfs disséqués qu'on électrise, que de muscles détachés de l'animal et crucifiés sur des appareils. » C'est en effet ainsi qu'ont été instituées les pre-

mières expériences; mais aujourd'hui, grâce à une disposition nouvelle, on peut étudier un muscle sans changer ses conditions normales. Au lieu de mesurer et d'enregistrer le raccourcissement de ce muscle, on étudie un phénomène connexe : son gonflement transversal. Or, ce gonflement peut se constater à travers la peau. Sur un animal, sur l'homme lui-même, on applique sur un muscle un petit appareil[1] et celui-ci transmet fidèlement à l'enregistreur tous les phénomènes musculaires. Non-seulement on supprime toutes vivisections, mais si l'on opère sur l'homme on ajoute grandement à la valeur des résultats obtenus. Le but final des expériences faites sur les animaux est de tirer des faits observés quelque conclusion applicable à la physiologie humaine; or, bien souvent, la fonction varie avec l'espèce animale sur laquelle on l'observe ; bien souvent on aurait tort de conclure de ce qui se passe sur un animal à ce qui a lieu chez l'homme. Aussi l'expérimentation la plus utile, la plus parfaite, est celle qui porte sur l'homme lui-même, puisque c'est à l'homme que doivent s'appliquer ses résultats.

Et maintenant, se je pouvais suivre dans chaque fonction de la vie les transformations secondaires du mouvement; si je pouvais montrer comment la méthode graphique révèle et mesure avec exactitude des phénomènes insaisissables à nos sens, j'aurais rempli ma tâche. J'aurais montré tout le parti que la physiologie peut tirer d'une méthode que les physiciens et les météorologistes ont employée avec tant de succès. Mais cette exposition m'entraînerait trop loin : la respiration, la circulation, et jusqu'aux variations de la température animale s'éclairent de l'emploi du graphique. Du reste, une partie de ces études expérimentales a trouvé place dans cet Annuaire. Celles qui sont relatives à la circulation du sang ont été exposées par M. Dehérain; c'est une bonne fortune pour le lecteur, mais c'en est une surtout pour l'auteur de ces travaux.

MAREY.

[1] Voir, pour la description, *Revue des cours scientifiques*, 1865, n° 25.

ZOOLOGIE

LE DRONTE OU DODO

ET LES AUTRES GRANDS OISEAUX ÉTEINTS DES ILES MASCAREIGNES

Les espèces qui, dans les divers groupes zoologiques dépassent leurs congénères par la taille ou par le volume semblent plus que jamais aujourd'hui menacées de disparaître de la nature vivante. Depuis les dernières époques géologiques, la diminution progressive de leur nombre est devenue d'autant plus rapide qu'elles doivent désormais compter l'homme parmi les nombreux compétiteurs qui leur disputent la surface de la terre : aussi l'âge actuel peut-il être considéré comme appelé à devenir le témoin de l'achèvement de leur ruine. Les animaux qui composent les espèces en question étant ceux dont la chasse est la plus avantageuse ou dont la destruction importe le plus à la sécurité de l'homme se trouvent inévitablement ainsi les plus exposés à disparaître de toute région que l'être privilégié incorpore à son domaine. Ils luttent avec d'autant moins d'avantages contre les persécutions auxquelles les met en butte cette nouvelle concurrence que la difficulté où ils sont de trouver une subsistance suffisante ne leur permet pas de se multiplier proportionnellement à leur élimination. Certaines petites espèces contre lesquelles nous entretenons une guerre acharnée ne doivent leur salut qu'à cette fécondité extraordinaire qui leur permet de disposer toujours de nouvelles réserves et de maintenir ainsi au même niveau le contingent moyen de la race. Mais ces pertes deviennent très-préjudiciables chez les individus de masse supérieure, à cause de la lenteur même de la reproduction, et l'avenir du type dont ils sont les représentants se trouve déjà compromis par ce seul défaut de réparation suffisamment prompte.

Il est temps que la science des êtres vivants se hâte d'achever

son œuvre, car de nouveaux types des plus remarquables sont sur le point de se dérober à son étude pour aller rejoindre l'immense ossuaire où sont déjà rassemblées tant de formes éteintes. Il n'y a certes pas de témérité à avancer que l'Éléphant, la Girafe, la Baleine, le grand Pingouin boréal, les gros Batraciens des Antilles, l'Emeu de l'Australie, l'Aurochs et le Lion lui-même sont menacés du même sort dont le Lamantin colossal des côtes de l'île de Behring, les gigantesques Moas de la Nouvelle-Zélande, l'immense Ruc ou Epiornis de Madagascar; le Dronte, le plus massif Colombide qui ait jamais existé; le Géant de Leguat, la plus grande des Poules d'eau, ont déjà été victimes dans l'espace de deux siècles à peine.

Parmi ces êtres qui n'appartiennent que depuis peu à l'histoire du passé, figurent surtout des Oiseaux : les animaux de cette classe ont en effet particulièrement souffert dans ces derniers temps et un assez grand nombre d'entre eux sont passés sous nos yeux mêmes pour ainsi dire, du domaine de la zoologie dans celui de la paléontologie.

La découverte inattendue de nouveaux débris a appelé tout récemment l'attention des naturalistes sur les Oiseaux de grande taille ou de formes massives qui depuis cent cinquante ans environ ont complétement disparu des îles Mascareignes[1]. L'occasion a été ainsi fournie de discuter à nouveau les caractères de ces espèces détruites et même de déterminer d'une manière définitive la place qu'elles occupaient dans les listes ornithologiques naturelles.

Le Dronte ou Dodo de l'île Maurice est devenu le plus célèbre des Oiseaux dont nous parlons, par les nombreuses discussions auxquelles a donné lieu la recherche de ses affinités.

Au commencement du dix-septième siècle, les descriptions de divers navigateurs qui visitèrent l'île Maurice, et les croquis plus ou moins reconnaissables faits sur les lieux mêmes par deux ou trois d'entre eux, étaient les seuls documents que comptait la monographie du Dronte[2]; lorsqu'en 1638, un de ces oiseaux vivants ayant été apporté à Londres, différents artistes, frappés de la singularité de ses formes le représentèrent dans leurs tableaux[3] et

[1] Groupe naturel formé des îles Maurice, Bourbon (Réunion) et Rodriguez.

[2] Ces premières figures ont été reproduite par MM. Strickland et Melville dans leur ouvrage sur le Dodo.

[3] Des peintures faites d'après nature se voient au British-Museum dans

purent transmettre ainsi jusqu'à nous ses caractères extérieurs. Le Dronte se faisait surtout remarquer par ses formes lourdes et massives et par les dimensions démesurées de son bec profondément fendu et armé à son extrémité de mandibules très-concaves à pointe recourbée ; portée sur un cou épais et court, la tête, presque tout entière formée par le bec, était revêtue d'une sorte de capuchon. L'aile n'était représentée que par un petit groupe de plumes jaunâtres : aussi cet Oiseau était-il complétement impropre au vol et réduit à se traîner pesamment sur les deux piliers gros et courts qui lui tenaient lieu de pieds. Sa physionomie, selon la juste expression de sir Herbert qui visita l'île en 1627, portait l'empreinte d'une tristesse profonde comme s'il sentait l'injustice que lui a faite la nature : ses deux gros yeux noirs, entourés d'un cercle blanc avaient en effet une expression mélancolique[1] qui a frappé tous ceux qui ont eu occasion de voir cet oiseau à l'état vivant. Le corps, de forme cuboïde, notablement glus gros que celui d'un Cygne était entièrement couvert d'un duvet de plumes grises, postérieurement arrondi et terminé en guise de queue par une houppe de plumes de même couleur, à barbes crépues.

L'inaptitude où se trouvait le Dodo de se défendre ou même de fuir explique la rapidité de sa disparition. C'est en 1598 que l'existence de cet animal bizarre fut signalée pour la première fois par l'amiral hollandais Jacob Cornelius van Neck, qui prit au mois de mars possession de l'île Maurice jusqu'alors complétement inhabitée. Ses matelots, poussés par la faim, assommèrent sans la moindre résistance un grand nombre de ces oiseaux lourds et stupides qui constituaient le seul gibier offert par la région (côté snd-est) où le débarquement s'était opéré ; mais cette proie n'avait d'autre mérite que sa facilité : « cest oiseau, dit van Neck, estoit si coriace que ne le povions asses bovillir, nous l'avons mengé à demy cru[2]; » sa chair était en outre d'une odeur rebutante et

les galeries royales de la Haye et de Berlin, et dans le Belvédère de Vienne. Des *fac-simile* de ces peintures se voient dans le même ouvrage.

[1] C'est pour cette raison que le naturaliste Herbert lui donna le nom de *Dodo*.

[2] « Le second livre, Journal ou Comptoir contenant le vray Discours et Narration historique du voyage faict par les huict Navires d'Amsterdam au mois de mars, l'an 1598.— Amsterdam, 1601. » C'est dans la planche n° 2.— « Comment nous avons tenu mesnage » que le Dodo se trouve représenté pour la première fois.

d'un goût désagréable. Cette mauvaise qualité qui mérita au Dronte le nom de *Walckvögel* « Oiseau de nausée », semblait devoir le préserver du massacre dont il était devenu victime, mais elle put rien contre la nécessité impérieuse où l'absence d'une nourriture plus appétissante mettait l'équipage hollandais.

L'œuvre de destruction ainsi inauguré fut poursuivi à plusieurs reprises depuis cette époque : quelques dates suffiront pour montrer avec quelle rapidité l'anéantissement d'une espèce peut être consommé. Déjà, en 1607, au dire de Paul van Soldt dont l'équipage vécut aussi pendant près d'un mois aux dépens des Drontes[1], le nombre de ces Oiseaux avait considérablement diminué ; en 1644, les Hollandais vinrent fonder une colonie dans l'île Maurice jusque là inhabitée et seulement visitée de loin en loin par quelques navigateurs : les chiens et les porcs qu'ils amenèrent avec eux portèrent le coup de grâce à la race du malheureux Dodo. C'est en 1681 que son existence à l'île Maurice est mentionnée pour la dernière fois par le lieutenant Harry, de la Compagnie des Indes. Le voyageur français Leguat, auquel nous devons sur les productions naturelles de cette île, qu'il visita en 1693, un ouvrage des plus consciencieux et des plus exacts, ne dit absolument rien de ce singulier Oiseau, qu'il n'aurait certainement pas manqué de soumettre à son observation sagace, s'il eût encore existé. Enfin, il n'était plus du tout question du Dronte en 1712, lors de la prise de possession de la colonie par les Français. Il a donc été supprimé définitivement de la faune des Mascareignes, de 1681 à 1693, et sa race qui florissait encore au commencement du dix-septième siècle, a ainsi, en moins de cent ans, disparu totalement et à jamais de la surface du globe.

Les renseignements fournis par les visiteurs de l'île Maurice, comme les représentations graphiques ne pouvaient procurer que la notion plus ou moins approchée du port et des formes extérieures. Tant qu'on n'eut pas entre les mains les différentes parties du squelette, on ne put évidemment se former que des idées confuses sur les vrais caractères zoologiques de l'Oiseau qui nous occupe. On désesperait de jamais bien connaître ce fossile moderne, lorsqu'au mois d'octobre 1865, un heureux hasard mit à jour à l'île Mau-

[1] En 1601, les matelots de Willem van West-Zanen avaient déjà suivi l'exemple de ceux de van Neck.

rice des ossements de Dronte en quantité suffisante pour reconstituer plusieurs fois le squelette et enrichir plusieurs collections. M. George Clark, habitant de l'île, depuis longtemps à la recherche des restes du Dodo, vit enfin ses efforts récompensés par un succès inespéré. En drainant un marais dépendant d'une propriété des environs de Mahebourg, des ouvriers avaient rencontré au milieu du sol tourbeux différents ossements parmi lesquels se trouvait un fragment authentique d'os de Dronte; encouragé par cette découverte, M. Clark fit immédiatement entreprendre des fouilles plus sérieuses qui bientôt mirent entre ses mains un nombre considérable de pièces. Ce marais devenu célèbre par cette circonstance est désigné dans le pays sous le nom de Mare-aux-Songes, à cause des nombreux Gouets ou Choux caraïbes (*Arum esculentum*), connus localement sous le nom des Songes, qui y croissent en abondance. Les Drontes enfouis dans son fond vaseux semblent tous y avoir péri de mort naturelle. Cet endroit, par les sources nombreuses qui s'y font jour comme par l'abri que lui fournissaient encore au commencement de ce siècle les nombreuses forêts environnantes détruites aujourd'hui, devait être la demeure de prédilection des Drontes et des Oiseaux paludéens.

M. Clark, à la grande satisfaction des naturalistes, envoya à Londres la plus grande quantité des précieux échantillons qu'il avait recueillis : une partie fut déposée au British Museum et l'autre vendue aux enchères du mois de mars dernier. M. Alphonse Milne Edwards acquit pour sa part une série importante de ces pièces et put ainsi jeter les bases de son travail sur les affinités du Dronte.

Il n'est pas d'animal problématique qui ait été plus que celui-ci promené à travers les différents ordres de sa classe. Ray et Linné, à raison de la brièveté de ses ailes et de son inaptitude au vol, le placèrent à côté des Autruches; Latham (1790) le classe de la même manière sous le nom de *Didus ineptus*. Plus tard, Temminck (1820) le range avec le Kiwi ou Aptéryx[1] dans un ordre particulier, collatéral du genre Manchot, qu'il désigne sous le nom d'Inertes. En 1835, de Blainville, s'appuyant principale-

[1] Oiseau sans ailes ni queue de la Nouvelle-Zélande. Taille d'une Poule, bec de Bécasse, pattes de Gallinacé, plumes semblables à celles du Casoar.

ment sur la forme du bec, la nudité du cou et la disposition des doigts, allie le Dronte aux Vautours. Plus tard M. Brandt, tout en signalant des points de ressemblance avec les caractères des Pigeons, le met à côté des Pluviers, parmi les Échassiers. Une telle divergence d'opinions tenait à ce qu'on ne pouvait alors arguer que d'après les formes extérieures.

Jusque dans ces derniers temps, une tête et une patte étaient les seuls débris de quelque importance du Dodo qui existaient en Europe; ces deux pièces, déposées au musée Ashmoléen d'Oxford, avaient seules échappé à la destruction d'un individu empaillé, mis au rebut en 1755 à cause de son mauvais état de conservation. En 1847, MM. Melville et Strickland, après une dissection très-minutieuse de cette tête et de cette patte, publièrent un excellent mémoire[1] où ils concluent de leurs observations que l'Oiseau de l'île Maurice appartient à la famille des Pigeons, malgré la singularité de ses formes[2].

Tout récemment cependant, M. Paul Gervais crut pouvoir émettre l'opinion que le Dronte se trouve lié principalement à la famille des Vulturidés (de *Vultur* : Vautour, type du groupe) et accessoirement aux Échassiers connus sous le nom de Gallinogralles, tels que les Kamichis[3] et les Cariamas[4]. Simultanément M. Alphonse Milne Edwards renouvelait l'assertion des deux anatomistes anglais en donnant de nouvelles preuves de sa légitimité; dans les mémoires présentés à l'Institut au mois de septembre dernier et publiés ensuite dans les *Annales des sciences naturelles*, ce savant paléontologiste discute avec une autorité remarquable les diverses alliances tentées jusqu'à lui, et démontre par l'analyse

[1] *The Dodo and its Kindred* (le Dodo et ses affinités. In-4. Londres, 1848.) Cet ouvrage est accompagné de planches faites avec le plus grand soin, qui rendent extrêmement lucide la dissertation ostéologique. Il réunit en outre tous les documents antérieurs de l'histoire du Dronte, tels que les relations des voyages de van Neck et des autres navigateurs qui ont séjourné à l'île Maurice, les *fac-simile* de leurs dessins originaux, les reproductions des peintures conservées dans plusieurs des musées d'Europe, etc.

[2] L'assurance avec laquelle cette conclusion est posée justifie l'épigraphe : « Pes *et* Caput *uni reddentur formæ.* »

[3] Les Kamichis ou Palamèdes sont de grands Oiseaux qui vivent par paires dans les régions marécageuses de l'Amérique méridionale.

[4] Les Cariamas se nourrissent au Brésil de Reptiles terrestres et sont élevés en domesticité à cause de la bonne qualité de leur chair.

consciencieuse des caractères ostéologiques que le Dronte se rapproche en effet des Colombides plus que de toute autre famille ornithologique et ne présente en particulier avec les Vautours que de rares ressemblances de formes sans importance anatomique ou physiologique. M. Owen, le grand réédificateur d'animaux éteints, ayant de son côté examiné les os nouvellement arrivés au British Museum, n'hésita pas à placer le Dodo dans le groupe des Pigeons et confirma ainsi pleinement les vues de MM. Melville, Strickland et A. Milne Edwards sur les rapports naturels de cet Oiseau si longtemps réfractaire aux classifications.

Déjà, ainsi que l'ont constaté les recherches approfondies de MM. Melville et Strickland, la conformation de la tête et de la patte place le Dronte plus près des Colombides que de tous les autres Oiseaux. La patte qui a servi d'objet d'étude ne comprenait que les phalanges et l'os métatarsien connu plus vulgairement sous le nom de canon[1] ; mais ces deux parties du squelette des membres postérieurs sont de la plus grande ressource dans la recherche des affinités ornithologiques, et peuvent même être considérées comme fournissant des déterminations aussi sûres que la constitution du système dentaire dans la classe des Mammifères. Le canon[2] isolé suffit même pour rendre possible la tâche du zoo-

[1] L'origine du canon des Oiseaux n'est pas la même que celle de l'os de même nom chez le Cheval. Ainsi que les observations embryogéniques, l'anatomie comparée et les faits tératologiques s'accordent à le démontrer, le canon du Cheval, comme celui des Ruminants d'ailleurs, provient de la soudure des phalanges de la première rangée ou phalanges métacarpiennes et métatarsiennes; celui des Oiseaux, de l'allongement et de la fusion des os qui composent le tarse ou poignet du pied. Cette dernière disposition est en partie reproduite dans la classe des Mammifères par les Quadrumanes nocturnes connus sous les noms de Galagos et de Tarsiers : chez ces Primates, en effet, les os du tarse s'allongent de manière à constituer aussi comme une sorte de seconde jambe placée à la suite du tibia. Mais, de même que les éléments du canon des Chevaux et des Ruminants restent libres chez le Chevrotain, les os du tarse des Galagos et des Tarsiers conservent leur individualité et se contentent de passer à l'état d'os longs sans jamais se confondre en un seul cylindre.

[1] Chez le Dronte comme chez les Pigeons, cet os est épais dans tous les sens et sa face postérieure est plus ou moins arrondie transversalement. Chez les Oiseaux de proie diurnes au contraire, le canon est toujours fortement comprimé d'avant en arrière, et sa face postérieure est tout entière occupée par une profonde gouttière dans laquelle glissent les tendons des fléchisseurs des doigts.

logiste, car il présente comme un reflet de la structure du pied sur lequel il repose. Une telle importance était loin jusqu'ici d'être attribuée à l'os métatarsien, mais M. Alphonse Milne Edwards, dans le grand travail qu'il publie en ce moment sur les Oiseaux fossiles de France [1], la justifie par tant d'heureuses applications qu'il est devenu impossible de ne pas la reconnaître.

L'étude que cet auteur put faire du fémur et du tibia du Dronte vint apporter un nouvel appui à l'opinion que les deux savants anglais avaient émise d'après l'examen de pièces insuffisantes en apparence. Le grand développement du trochanter, la différence très-notable de niveau que présentent les deux condyles latéraux de l'extrémité inférieure, la largeur et la concavité très-marquée de la gouttière rotulienne, la profondeur de la fosse poplitée, sont autant de caractères qui, par leur reproduction chez les Colombides [2], protestent contre toute alliance avec les Rapaces.

Le tibia, extrêmement robuste, indique par ses saillies que les muscles de la cuisse et de la patte étaient doués d'une puissance proportionnée à la masse de l'animal qu'ils avaient mission de déplacer sur le sol. Le long péroné des Vulturidés est remplacé chez le Dodo comme chez les Pigeons par un os styliforme qui n'occupe environ que le tiers supérieur du tibia. D'autre part il ressort de la comparaison que M. A. Milne Edwards a faite d'une multitude de squelettes, que les divers caractères tirés de la conformation de l'os du talon présentent une très-grande fixité chez les différents groupes de la classe des Oiseaux, aussi doivent-ils être pris en sérieuse considération dans toute discussion relative aux affinités naturelles de ces animaux : de ce côté encore s'affermissent pour le Dronte les déductions précédentes.

Le signalement du Dodo répond, du reste, fort peu à celui d'un

[1] Ce travail destiné à combler une des lacunes les plus réelles de la science paléontologique, sera représenté par deux gros volumes in-folio de texte, qu'accompagnera un atlas de 835 planches in-folio réunies en six autres volumes. Il est le fruit de recherches extrêmement actives, mises en œuvre par un savoir anatomique des plus vastes.

[2] Le fémur de Dronte est beaucoup plus robuste que chez aucune espèce de Pigeons, mais ses caractères essentiels n'en sont pas moins les mêmes dans ce groupe.

La surface articulaire inférieure indique que la cuisse n'était pas située dans le même plan que la jambe, mais se dirigeait très-obliquement en dehors de façon à donner à la base de sustentation une très-grande largeur.

Oiseau de proie. L'incapacité absolue où il était de voler ne permet pas de penser qu'il se nourrissait d'Oiseaux, et son allure pesante le rendait tout à fait impropre à la chasse des animaux terrestres. Ceux-ci n'étaient d'ailleurs représentés à l'époque où le Dronte florissait à l'île Maurice que par quelques reptiles, car, de même que dans les autres îles disséminées au milieu des grands océans les Mammifères marcheurs faisaient complétement défaut, à cause de la difficulté insurmontable que l'éloignement des continents et l'interposition d'une vaste étendue de mer opposent à l'immigration de cette sorte d'animaux[1] ; de grandes Chauves-Souris constituaient seules alors la faune mammalogique indigène. Les caractères extérieurs de notre Oiseau, l'état particulier de ses organes de motilité, la privation d'armes offensives et même défensives comme l'absence d'une proie animale appropriée et en quantité suffisante, tendent ainsi à ne laisser de vraisemblance qu'à l'hypothèse d'un régime végétal[2].

Le sternum du Dronte rappelle, certes, beaucoup plus celui des Brévipennes (Autruche, Nandou, Casoar, Emeu, Aptéryx) que celui des Rapaces, bien qu'il ne puisse être assimilé à celui d'un Brévipenne quelconque à cause de l'existence d'un bréchet. Mais sous le rapport de la texture, de l'épaisseur, de la forte concavité de la face supérieure, de la distribution des orifices pneumatiques, comme encore de la conformation du bord antérieur, cette pièce osseuse se rapproche notablement de son homologue chez le Nandou et chez l'Aptérix. Toutefois, la tendance que l'on constate ainsi vers le type des Oiseaux coureurs est complétement entravée par les résultats de l'étude du bassin. Cette dernière partie de la charpente solide est au reste une de celles qui ont fourni à la discussion des affinités les arguments les plus décisifs comme les plus faciles à apprécier : ainsi, le bassin offre chez les Oiseaux de proie diurnes une forme si nettement caractéristique qu'il est impossible de ne pas reconnaître, au premier coup d'œil, que le plan d'après lequel est construit celui du Dronte est fort différent ;

[1] Les Chèvres, les Cochons et les autres Quadrupèdes qui se trouvent actuellement dans ces diverses îles océaniennes y ont été importés depuis par les Européens.

[2] Ainsi que le fait remarquer M. A. Milne Edwards, si le Dronte avait été carnassier, on ne voit guère que les Mollusques terrestres dont il aurait pu se repaître.

selon M. A. Milne Edwards, une divergence non moins grande existe dans le même sens entre l'Oiseau de l'île Maurice et les Gallinogralles, dont M. Gervais a cru pouvoir le rapprocher.

Les particularités de structure, qu'on remarque dans le bassin et dans l'appareil sternal du Dronte, ne sont pas de l'ordre de celles qui, chez les Colombides, caractérisent l'appropriation de l'organisme à un genre de vie de plus en plus terrestre. Aussi, le Dronte doit-il être placé définitivement, non pas à la suite des espèces essentiellement marcheuses de ce groupe, tels que les Gouras et les Nicobars, mais bien en dehors de la série qui s'étend des Pigeons grands voiliers aux formes les plus sédentaires, et dans une division toute spéciale.

En 1694, dans une région jusque-là inconnue des Européens, et située précisément à l'opposite de la côte où les navires touchaient d'ordinaire, et où van Neck et ses successeurs purent observer le Dodo, le voyageur français Leguat [1], rencontra à l'île Maurice des Oiseaux de haute taille, dont il donne la description suivante, en regard d'une figure très-bien faite, dessinée par lui-même : « On voit beaucoup de certains oiseaux qu'on appelle *Géants*, parce que leur tête s'élève à une hauteur d'environ six pieds. Ils sont extrêmement haut montés sur jambes et ont un cou fort long. Le corps n'est pas plus gros que celui d'une Oie. Ils sont tout blancs, excepté dans un endroit sous l'aile qui est un peu rouge. Ils ont un bec d'Oie, mais un peu plus pointu, et les doigts sont séparés et fort longs. Ils paissent dans les lieux marécageux, et les chiens les surprennent souvent à cause qu'il leur faut beaucoup de temps pour s'élever de terre. Ce gibier est assez bon [2]. » Ces Géants, les plus grands Oiseaux qui aient jamais existé aux îles Mascareignes [3], n'ont pas été observés de nouveau par les

[1] Gentilhomme protestant obligé de quitter son pays natal à la suite de la révocation de l'Édit de Nantes.

[2] *Voyage et aventures de François Leguat et de ses compagnons en deux îles désertes des Indes occidentales*. (Londres, 1708, 2 vol. in-8), tome II, page 72. — Cet ouvrage n'est pas seulement précieux parce qu'il est le seul qui fasse mention d'une espèce éteinte des plus remarquables, mais encore parce qu'il porte en tous ses points l'empreinte de l'observation la plus attentive.

[3] Les Géants vivaient aussi à l'île Bourbon. Leguat (*Voyage*, tome I, page 55) nous apprend que le marquis Duquesne les cite parmi les productions naturelles de cette île.

explorateurs venus à la suite de Leguat, d'où l'on peut inférer que leur race était déjà complétement annihilée vers le commencement du dix-huitième siècle. Les colonies européennes que le voyageur français trouva installées précisément dans les régions occupées par ces magnifiques animaux, eurent bientôt après son retour, achevé sans merci l'œuvre d'extermination.

Le Géant n'était ni un Struthionien (de *Struthio*, Autruche) ni un Flamant, ainsi que l'ont avancé certains auteurs. Depuis la rigoureuse dissertation de M. Schlegel[1], il n'y a plus à douter que l'Oiseau gigantesque de Leguat était de la famille des Poules d'eau. Les Gallinules ou Poules d'eau sont des Échassiers spécialement organisés pour marcher sur les herbes des marais : leurs doigts se font remarquer, comme ceux du Géant, par leur longueur démesurée ; disposition éminemment propre à ce genre de vie, car la grande étendue fournie ainsi à la base de sustentation permet de corriger le désavantage tenant à la mobilité du sol.

Bien que, par sa taille, ce nouveau compagnon d'infortune du Dronte dépasse de beaucoup les espèces, même les plus grandes, parmi les Oiseaux de marais, son poids, à raison de la sveltesse plus sensible des formes et de la petitesse du corps, était comparativement plus faible, et par conséquent cette grande Gallinule devait, aussi bien que ses congénères, pouvoir courir à l'aide de ses longs doigts sur les plantes flottantes sans y enfoncer. Le peu de développement des ailes, la faiblesse du vol, la forme de la queue et sa position redressée sont encore autant de caractères communs au Géant et aux Gallinules. De plus, la figure donnée par Leguat, dans la relation de son voyage aux Mascareignes, montre distinctement que la mandibule supérieure se prolongeait sur le front en manière d'écusson, exactement comme chez les Foulques, les Poules d'eau et les Poules-Sultanes ou Talèves. L'absence de bordure festonnée aux doigts du Géant éloigne cet Oiseau des Foulques pour le rapprocher des deux derniers groupes ; d'un autre côté, sa couleur[2], très-différente de celle des Poules-Sultanes qui sont, comme on sait, d'un beau bleu lustré,

[1] Directeur du Musée d'Histoire naturelle à Leyde.

[2] Une Gallinule de plumage blanc comme celui du Géant habitait jadis les îles de Lord-Howe et de Norfolk.

se joint à la forme allongée des narines et à une moins grande élévation du bouclier fronto-rostral, pour ranger définitivement l'Échassier de l'île Maurice plutôt dans le groupe des Gallinules ou Poules d'eau que dans celui des Porphyrions ou Poules-Sultanes.

Ces dernières sont d'ailleurs représentées dans la faune éteinte des trois Mascareignes par l'Oiseau-Bleu, de l'île Bourbon, dont le voyageur Dubois nous a laissé la description[1]. Observé seulement vers 1670, cet animal n'a jamais été revu depuis, mais les quelques renseignements que Dubois nous a fournis suffisent pour déterminer sa place d'une manière certaine. Le nom indique déjà que la couleur du plumage était précisément celle qui est particulière aux Poules-Sultanes. Si le Géant peut être considéré comme le représentant du type Cigogne, dans le groupe des Poules d'eau, l'Oiseau-Bleu doit être, selon M. Schlegel, au même titre que le Notornis de la Nouvelle-Zélande, considéré comme le représentant de la forme galline dans le groupe des Porphyrions. Sa forte taille[2], l'épaisseur de son tibia garni de plumes jusqu'au bout, la brièveté de ses doigts, la forme trapue et courte de son cou donnent complétement raison à cette opinion. De plus, l'Oiseau-Bleu, comme la plupart des Oiseaux insulaires, était incapable de voler, mais rachetait cette imperfection par la rapidité de sa course : or, ce dernier caractère, qui appartient aussi aux espèces ordinaires du genre Porphyrion, a été particulièrement remarqué chez le Notornis, c'est-à-dire chez le type encore actuellement vivant, qui reproduit dans le même genre, l'exagération de taille et l'imperfection des ailes, signalées chez l'Oiseau-Bleu.

Sans Leguat, nous ignorerions encore qu'il pût exister une Poule d'eau de deux mètres de hauteur, de même que sans Dubois, une forme remarquable de Porphyrion aurait, à notre insu, disparu à jamais du règne animal actuel. C'est encore à ces deux mêmes auteurs que nous devons de connaître le Solitaire[3] de l'île Rodri-

[1] *Les voyages faits par le sieur D. B. aux îles Dauphine et Bourbon ès années* 1669 *à* 1672. Paris, 1 vol. in-12, 1774.

[2] Au moins égale à celle d'un Dindon.

[3] Les Solitaires étaient ainsi appelés parce que, bien qu'ils fussent en grand nombre, ils n'allaient jamais par troupes. Leur corps, tout revêtu de plumes blanches, était de la même grosseur que celui de l'Oiseau-Bleu et la tête se

guez. Les descriptions qu'ils nous en ont laissé chacun se confirment l'une l'autre par leur concordance parfaite. Leguat qui nous a déjà donné la figure du Géant, nous a aussi transmis une représentation de cette quatrième espèce éteinte (*Voyage*, tome II, page 98), placée dans le groupe des Autruches, de l'avis commun des ornithologistes.

L'espoir qu'on a encore de retrouver à l'état vivant le Ruc ou Condor colossal de Madagascar, comme les gigantesques Dinornis et les massifs Palaptéryx de la Nouvelle-Zélande [1], ne peut être conservé à l'égard des Oiseaux des îles Mascareignes. Le Dodo, le Géant, l'Oiseau-Bleu, le Solitaire et très-probablement aussi les grands Perroquets dont M. Owen vient de nous révéler la présence dans l'île Maurice à la même époque, ne sont plus actuellement représentés dans les localités où ils avaient établi leur séjour, que par les quelques ossements qu'ont respectés jusqu'à nous les modifications du sol ou les intempéries de l'air. Ces débris pourtant suffisent à nos zoologistes pour opérer la réédification du type détruit, et les formes organiques définitivement éteintes pour la nature peuvent ainsi, grâce à leurs vaillants efforts, ressusciter dans la science.

E. Vignes.

trouvait portée à l'extrémité d'un long cou. « Ces oiseaux, dit Dubois, se prennent à la course, ne volant que bien peu. »

[1] Les grands Moas (Dinornis et Palaptéryx) de la Nouvelle-Zélande nous fournissent un nouvel exemple de l'importance des résultats qui peuvent naître de tout conflit engagé entre l'homme et une race animale déterminée. Ces Oiseaux vivaient en grand nombre avant l'invasion des naturels Maoris chassés des îles Samoa par la famine. Les Maoris se jetèrent avec avidité sur cette proie toute préparée qui formait d'ailleurs à peu près le seul gibier qu'ils pussent rencontrer : les grands Oiseaux s'étant substitués aux Mammifères dans la Nouvelle-Zélande comme dans les Mascareignes.

Dans cette contrée paisible où l'homme et le meurtre étaient également inconnus, les nouveaux venus pour se faire place et pour se nourrir sacrifièrent les Moas à leurs nécessités impérieuses : la colonie prospéra aux dépens de ces malheureux Oiseaux, et la somme de vie, tout en restant toujours la même, tourna au profit des envahisseurs. Mais, au bout de peu de temps, la population avait pris une telle extension qu'elle dut, menacée de nouveau par la famine, se livrer au cannibalisme.

L'épuisement de la ressource fournie par les grands Moas changea complétement le terrain de la lutte et contraignit ainsi les imprévoyants Maoris à se soumettre à la conséquence la plus affreuse des lois inexorables de la concurrence vitale.

DEUXIÈME PARTIE

SCIENCES APPLIQUÉES

ART DE L'INGÉNIEUR

I

LE CABLE TRANSATLANTIQUE

« Au moment où s'engageait près de nous cette lutte sanglante qui a pu nous faire croire au retour des plus tristes temps de l'histoire, un immense vaisseau, exemple lui-même des hardies tentatives du génie moderne, quittait le dernier port de notre continent et s'avançait au milieu des brumes et des tempêtes de l'Océan septentrional. — Où allait-il? L'univers le sait maintenant : il allait renouveler encore une fois un effort qui avait toujours échoué et qui semblait défier les forces humaines. Pendant que le canon des batailles tonnait sur l'Europe, un câble se déroulait en silence dans les profondeurs de la mer, autrefois incommensurables, aujourd'hui connues et mesurées, et, tout à coup, un cri de triomphe nous arrivait au travers de l'immensité : les deux mondes étaient réunis par le fil électrique! L'indomptable persévérance d'une nation puissante et sage a pu seule accomplir ce prodige. »

C'est en ces termes qu'au mois d'août dernier, dans la séance annuelle des cinq académies, au milieu des acclamations qui accueillaient à la fois l'éloquence de l'orateur et l'importance de la

nouvelle, M. Léonce de Lavergne se faisait l'interprète, non-seulement de l'illustre Compagnie qu'il présidait, mais encore de l'opinion publique, qui, dans un mouvement unanime d'admiration, célébrait la récente conquête de la science.

Telles étaient les difficultés de cette entreprise grandiose, qu'à notre époque, si féconde en prodiges, où les découvertes qui se multiplient sous nos yeux convertissent les plus incrédules, le scepticisme avait gagné jusqu'au monde savant.

A la vérité, l'Angleterre et l'Amérique avaient été mises une fois en communication électrique, mais les moyens de correspondance avaient été si précaires, si tôt troublés, si tôt brisés, qu'il était téméraire, disait-on, d'affirmer la possibilité de relier les deux mondes d'une manière durable par l'électricité.

Chose digne de remarque ! Les plus clairvoyants, en cette affaire, ne furent pas toujours les plus compétents. — Tandis que plusieurs savants se montraient, en France, incertains, flottants, quelques-uns contraires, le peuple avait la foi : il croyait à l'approche du miracle; non pas, comme on pourrait le penser, par une tendance naturelle au merveilleux, mais par une sorte d'inspiration qui lui dévoilait les secrets de l'avenir. Sa croyance dans le pouvoir de la science était mieux inspirée que les calculs de la critique.

Il serait injuste de repousser sans examen les jugements de la multitude, sous prétexte qu'elle n'est pas compétente en telle ou telle matière. L'ignorance des détails éclaircit parfois la vue de l'ensemble. Dans un grand nombre de questions, les solutions se dégagent, pour ainsi dire, d'elles-mêmes, à l'inspection attentive des données du problème; le sentiment, sinon la connaissance profonde des lois générales qui régissent le monde, crée une sorte de divination. Il y a des heures où les vérités se révèlent !

N'est-ce pas ce qui se produisit à propos de la télégraphie sous-marine? Ce qu'il y a de certain, c'est que l'opinion publique resta indifférente aux discussions qui s'engagèrent à ce sujet dans les corps savants. Elle plana, en quelque sorte, au-dessus du débat. La confiance des promoteurs de l'œuvre l'avait gagnée. La prétendue impossibilité d'une solution positive cédait devant la nécessité d'une solution imminente.

I

Maintenant que le rêve du génie inventeur est devenu une réalité, après les émotions de la surprise et de l'enthousiasme, la curiosité des esprits intelligents demande à son tour une satisfaction. On veut savoir de quels éléments se constitue, comment s'installe et se comporte ce câble mystérieux qui transmet les messages d'Amérique en Europe et d'Europe en Amérique; on veut savoir aussi par quelles précautions il est défendu contre les périls qui le menacent, quelles épreuves ont marqué ses commencements et ses progrès avant la victoire définitive; enfin quel avenir lui est ouvert, et sur quelles garanties se fondent ses futures destinées.

Que faut-il, avant tout, pour qu'on puisse, au moyen de l'électricité, mettre en communication les différentes parties du globe? — Qu'il existe un corps capable de conduire ce fluide à toutes les distances terrestres. Or, parmi les substances qu'on peut mettre sur les rangs, le cuivre, sans parler des autres propriétés qu'il possède, de la facilité avec laquelle on l'étire en fils, de son inaltérabilité relative, etc., remplit la condition essentielle de conductibilité. — C'est au moyen de fils de cuivre qu'on fait les conducteurs chargés de transmettre les dépêches électriques au delà des mers.

Toutefois, quelle que soit la vertu conductrice de ce métal, quelque tendance qu'ait l'électricité à se précipiter sur le chemin qu'il trace, il serait imprudent de le jeter tout nu à la mer. L'eau salée, en effet, quoique moins bonne conductrice que le cuivre, l'est cependant assez pour qu'il soit nécessaire de mettre les fils métalliques à l'abri de son action absorbante. Afin de les protéger contre toute dérivation, on les enferme dans une gaîne isolante, et l'on complète ainsi la partie essentielle, l'*âme* du câble.

La nature fournit elle-même l'un des éléments nécessaires. — Il existe, dans l'une des îles de la Malaisie, à Sumatra, et dans la presqu'île de Malacca, une substance possédant, entre autres propriétés, celle d'isoler électriquement les corps qu'elle entoure : c'est la gutta-percha. Les fils de cuivre sont isolés au moyen de cette matière, d'autant plus précieuse ici que, friable, cassante

dans l'air et à la lumière, elle est inaltérable dans l'eau de mer.

Mais la gutta-percha n'est pas tout à fait imperméable à l'électricité : à la longue, elle s'imbibe, en quelque sorte, de fluide. Il est donc nécessaire d'isoler la matière isolante ; de là l'interposition d'un vernis particulier entre le fil métallique et la gutta-percha.

Qu'on dépose maintenant dans la mer un câble analogue à celui que nous venons de décrire, il transmettra l'électricité ; seulement (c'est un des caractères qui distinguent les câbles sous-marins des fils aériens) la transmission ne sera plus instantanée ; elle sera ralentie par un phénomène de condensation dont nous allons essayer de rendre compte.

On sait, pour adopter le langage qu'admet encore la science classique, qu'il existe dans tous les corps deux fluides électriques qui s'attirent l'un l'autre, quand ils sont séparés (le *fluide positif* et le *fluide négatif*, comme les a nommés Franklin), et qui forment, étant combinés, ce qu'on appelle le *fluide neutre* ou le *fluide naturel*. Différentes causes, telles que le frottement, les actions chimiques, la présence de l'un des deux fluides simples, peuvent décomposer le fluide neutre et donner lieu à des phénomènes particuliers.

Cela posé, imaginons que l'électricité qui circule dans le conducteur soit positive ; elle agira, *par influence*, à travers l'enveloppe isolante, sur le fluide neutre du milieu dans lequel plonge le conducteur ; elle décomposera ce fluide et accumulera l'électricité négative provenant de la décomposition contre le manchon isolant. Celle-ci, à son tour, réagira sur le fluide neutre du conducteur, et ainsi de suite. — C'est ce jeu des actions et des réactions électriques dans cette espèce de *bouteille de Leyde* qui produit une condensation, et, par suite, un ralentissement de l'électricité [1].

Les effets de cette condensation ont un instant effrayé les physiciens. Plusieurs avaient pensé que l'électricité accumulée dans les câbles, venant à s'écouler à un moment déterminé, causerait

[1] C'est à un phénomène de condensation analogue à celui dont nous parlons qu'on doit attribuer le retard d'un dixième de seconde observé lors de la détermination des longitudes de Paris et de Greenwich. M. Airy attribue ce retard à la portion sous-marine du télégraphe qui réunit les deux Observatoires.

des mouvements désordonnés dans le récepteur. L'un d'eux avait comparé l'effet produit, dans ce cas, à la confusion qui a lieu, pour la parole, dans une salle à échos très-courts. Heureusement ces craintes étaient exagérées. Les phénomènes de condensation, aggravés encore par l'enveloppe métallique que nous allons bientôt donner au câble, n'ont pas des conséquences aussi graves. On en avait déjà la preuve avant la grande expérience transatlantique : M. Morse, et, plus tard, M. Whitehouse avaient évalué les proportions et les limites du ralentissement causé par la condensation. Depuis la pose du câble transocéanien, on sait que la proportion est encore plus faible qu'on ne le pensait, et qu'à la distance de mille lieues environ, le télégraphe envoie de six à sept mots anglais par minute.

Il est aujourd'hui démontré que la quantité d'électricité nécessaire pour la transmission des dépêches à travers l'Océan peut être fournie par une pile du plus petit calibre. — Quelques gouttes d'acide dans un dé d'argent et un morceau de zinc du poids de 1 à 2 grammes suffisent, dit un des ingénieurs de la Compagnie, M. Lastner Clarke, pour établir une communication entre les deux continents. L'action est lente, il est vrai, mais au bout d'un certain temps, elle se manifeste d'une manière non équivoque. Le courant persiste encore si, joignant les deux câbles à Terre-Neuve, on le force à franchir deux fois l'Océan, coup sur coup, sans interruption, sans relais. En voyant de tels effets, on se demande si, avec une pile grande comme une capsule, on n'arriverait pas à relier les deux mondes.

La condensation n'a, comme on le voit, rien d'inquiétant, il y a donc lieu de passer outre.

Nous avons dit que l'âme du câble se compose de deux parties essentielles : le conducteur et l'enveloppe isolante. Voyons maintenant quelle disposition on donne à chacune de ces parties.

Le nombre des fils de cuivre qu'on emploie, la manière dont on les arrange, la grosseur de ces fils, etc., sont variables selon les conditions de portée et de localité. Dans le télégraphe qui joint l'Irlande à l'Angleterre, il n'y a, au centre du câble, qu'un fil de cuivre. Le noyau métallique du câble transatlantique de 1857 se composait d'une tresse de sept fils de cuivre dont le diamètre était d'environ deux millimètres. Entre Douvres et Calais, le câble a quatre fils intérieurs. Dans le dernier modèle transocéanien, qui

doit servir de type pour toutes les grandes traversées, il y a sept fils de cuivre, dont six s'enroulent autour du fil central qui sert d'axe. La corde métallique ainsi formée a environ trois millimètres de diamètre.

Quant à l'enveloppe isolante, elle est, en majeure partie, composée de gutta-percha. Les fils en sont revêtus séparément, et l'ensemble est recouvert à son tour de plusieurs couches distinctes. Cette superposition de couches isolantes est préférable à l'emploi d'une seule couche d'égale épaisseur ; elle augmente, en effet, les chances de parfait isolement, car il est probable, s'il se produit quelques gerçures, que ces défauts ne correspondront pas de manière à laisser passer l'électricité.

Dans le câble de 1866, les précautions les plus minutieuses ont été prises à cet égard. Non-seulement les fils intérieurs sont isolés et reliés les uns aux autres dans une espèce de ciment qui en forme un bloc solide, mais encore, autour de la corde métallique, quatre couches d'une matière gluante, visqueuse, imperméable à l'électricité, et connue sous le nom de *composition de Chatterton*, alternent avec quatre couches de gutta-percha et complètent l'enveloppe isolante.

Après les conditions physiques, les conditions mécaniques.

S'il était possible de descendre au fond de la mer, sans tiraillements et sans chocs, un câble réduit à son *âme*, et si, une fois posé, il se trouvait à l'abri des agents extérieurs, on pourrait employer des modèles identiques à celui dont nous venons de parler. Mais il s'en faut qu'il en soit ainsi : la pose est une opération difficile qui entraîne inévitablement des tiraillements et des chocs, et, de plus, dans les mers peu profondes, les agitations de la surface se propagent jusqu'au fond, en même temps que les ancres à la traîne menacent de déchirer les enveloppes isolantes. De là l'idée de donner aux câbles sous-marins une armature métallique.

Mais si, à ce point de vue, l'armature joue un rôle important, elle est d'une utilité beaucoup moindre, pour ne pas dire nulle, elle est même nuisible dans certains cas, sous le rapport des chances de rupture.

On peut, d'une manière très-simple, évaluer la charge qui, au moment de la pose d'un câble sous-marin, tend à le rompre. —

N'est-il pas évident que si le câble tombait verticalement au fond de la mer, l'effort de traction, au point d'immersion, serait égal au poids, dans l'eau, d'un mètre de câble multiplié par la longueur immergée? Tout est là. Bien que, dans la pratique, les choses ne se passent pas exactement ainsi, bien qu'un câble ne tombe pas verticalement, le petit calcul que nous venons d'indiquer n'en est pas moins le point de départ de la formule employée pour évaluer la tension.

Au lieu de descendre verticalement, le câble suit une certaine courbe déterminée par la vitesse, le frottement, la roideur des cordes, les résistances passives. L'effet de cette inflexion est d'augmenter la tension. Il s'agit donc de savoir dans quelle proportion l'accroissement a lieu, ou, pour employer l'expression consacrée, il s'agit de savoir par quel *coefficient* il faut multiplier la tension normale.

MM. Breton et de Rochas ont cherché à effectuer cette détermination ; mais leur formule, basée d'ailleurs sur des considérations ingénieuses (ils supposent que le câble affecte la forme de la *chaînette*[1]) est malheureusement plus théorique que pratique, et ne peut être proposée que comme un élégant exercice d'analyse.

Le moyen le plus sûr d'arriver à la connaissance exacte d'un coefficient, dans un problème du genre de celui qui nous occupe, c'est d'appeler au secours du calcul l'expérience, qui, lorsqu'on sait l'interpréter, est toujours un grand maître. — Eh bien ! l'expérience enseigne que le multiplicateur cherché est 1,35 ; c'est-à-dire que la tension, au lieu d'être égale au simple produit du poids du câble dans l'eau par sa longueur, est égale à ce produit multiplié par 1,35.

Précisons les idées au moyen d'un exemple, et, pour exemple, choisissons le câble transatlantique de 1866. Prenons-le au moment où il arrive au point le plus profond de la traversée, quand il atteint 5,000 mètres.

Si le câble tombait verticalement, la tension, à ce moment, serait 5,000 P (P désignant le poids, dans l'eau, d'un mètre de

[1] La *chaînette* est la courbe que forme une corde ou une chaîne flexible d'épaisseur et de densité uniformes, quand on la suspend sans la tendre à ses deux extrémités. Galilée la confondit avec la *parabole*, autre courbe d'une forme analogue, au premier aspect.—Les deux Bernouilli, Huyghens et Leibnitz en ont étudié les propriétés.

câble). Mais le câble s'infléchit; la tension augmente; le coefficient observé est 1,35; la charge à laquelle le câble se trouve exposé est donc 1,35 fois 5,000 P; ce qui donne, en remplaçant P par sa valeur qui est de 400 kilogrammes par kilomètre, c'est-à-dire de 400 grammes par mètre, une tension égale à 1,35 fois le produit de 5,000 par 400 ou 2,700 kilogrammes.

Pour plus de prudence, au lieu d'exiger seulement, dans les essais, la charge donnée par cette formule, on impose au câble une charge double, ou même triple.

Des quantités engagées dans la formule, une seule est variable, pour un point donné, c'est le poids du câble par mètre courant; les autres quantités sont constantes. Or la corde métallique, avec son enveloppe isolante, possède à peu près le même poids spécifique que l'eau de mer. Le poids du câble dépend donc à peu près exclusivement du poids de l'armature. Plus l'armature est forte, plus aussi elle est lourde et plus elle charge le câble; en revanche, moins l'armature est pesante, plus son diamètre est petit, par suite, plus sa section est faible, et moins elle offre de résistance. Tout compte fait, il est à peu près indifférent, sous le rapport de la résistance à la rupture, que le câble ait telle ou telle armature.

La conclusion ressort d'elle-même. Comme les armatures pesantes coûtent fort cher, sont encombrantes et donnent de la roideur au câble, il ne faut les employer que lorsque cela est indispensable, c'est-à-dire dans le voisinage des côtes, partout où la mer a moins de 300 ou 400 mètres de profondeur, partout où les navires peuvent traîner leurs ancres.

Voilà pourquoi la plupart des câbles sous-marins ne sont pas du même calibre d'une extrémité à l'autre; voilà pourquoi le câble transatlantique auquel nous rapportons toujours nos conclusions parce que c'est surtout lui que nous avons en vue, est terminé par deux *shore ends*, par deux *bouts côtiers*, dont l'armature est d'une extrême solidité, tandis que la partie destinée à la pleine mer est revêtue d'une cuirasse relativement légère.

Même avec cette armature légère, il ne serait pas possible de descendre un câble, si bien construit qu'il fût, à toute profondeur. Il y a une limite au delà de laquelle le câble se romprait sous sa propre charge.

En effet, le fer le meilleur qu'on puisse employer pour la confection des armatures porte 70 kilogrammes par millimètre carré

et pèse, dans l'eau, 6 grammes par mètre courant. A la profondeur de 12,000 mètres, chaque millimètre carré, au point d'immersion, aurait donc 72 kilogrammes à porter, ce qui dépasse la résistance du fer à la traction : on voit par là que, dans l'étude des itinéraires sous-marins, il faut s'appliquer à ne pas rencontrer de pareilles profondeurs, à moins de renoncer aux câbles à armature métallique, ou bien de prendre des points d'appui artificiels.

La profondeur qui, sous le rapport de la charge, est une difficulté quand on dépasse une certaine limite est, au contraire, un auxiliaire au point de vue électrique. On avait craint que, par des fonds de 5,000 mètres, l'énorme pression de 500 atmosphères qui s'exerce sur le câble, ne produisît quelque modification fâcheuse dans l'état moléculaire du fil et dans sa conductibilité. « La théorie montre que non-seulement il n'y a rien à craindre de ce côté, mais qu'au contraire les conditions sont meilleures. De plus, la pratique tend à rassurer... J'ai demandé à M. Froment un appareil permettant d'examiner complétement ce qui se passe et de voir si, pour une pareille pression, il ne se produit pas quelque accident. Cet appareil a été construit. Un échantillon du câble transatlantique dont les extrémités étaient à l'air libre, a été soumis à des pressions variables jusqu'à 500 atmosphères, et les expériences faites au Conservatoire des arts et métiers, en présence de MM. Becquerel, Wertheim, de Tessan et Tresca, nous ont complétement rassurés[1]. »

Ce n'est pas tout : l'armature métallique ne doit pas être brutalement appliquée sur l'enveloppe isolante. Il faut prendre garde d'endommager cette enveloppe dont le parfait état est si important pour le fonctionnement télégraphique. Afin d'éviter toute lésion, toute déchirure, tout contact trop dur, on interpose, entre l'armature métallique et le manchon isolant, un matelas protecteur. Dans un grand nombre de câbles, ce matelas est en filin goudronné. Dans le câble transatlantique, il est formé de *jute*, matière textile dont on se sert dans les Indes pour fabriquer des toiles grossières, des lignes et des filets de pêche, et dont on fait aussi un grand commerce en Angleterre, surtout à Liverpool.

[1] *Éléments de télégraphie sous-marine*, par A. Delamarche, ingénieur hydrographe de la marine.

Chaque fil de l'armature est, de plus, entouré d'un fourreau de chanvre de Manille qui procure à l'ensemble plus de légèreté.

Maintenant, quelle disposition donne-t-on aux fils de l'armature? Le premier câble sous-marin avait une armature dont les fils étaient disposés en anneaux perpendiculaires à l'axe. On dut renoncer à cette construction ; car, dès qu'une tension un peu forte venait à se produire, les anneaux protecteurs laissaient entre eux des interstices, usaient, par le frottement, les matières sous-jacentes et cessaient bientôt de former une gaîne continue.

Une armature à fils parallèles à l'axe serait de toutes la meilleure, sous le rapport de la résistance à la traction; mais elle nécessiterait des anneaux de maintien, des *colliers*, situés à de courts intervalles, ce qui compliquerait la fabrication. On enroule les fils en spirales. Ce qu'il perd en force, le câble le gagne en légèreté, en souplesse et en élasticité.

On a dit que les câbles armés de cette manière ne résistent pas suffisamment à la traction; l'expérience prouve le contraire. « Les essais qui ont été faits tendent à démontrer que, pendant l'opération de la pose, le pas de l'hélice des fils cordés extérieurement ne s'allonge pas et que l'armature résiste comme le ferait un tube métallique d'enveloppe [1]. »

On a dit aussi que l'action de l'eau de mer perdrait promptement les armatures et compromettrait les communications. On ne peut pas nier qu'il y ait là une cause sérieuse d'altération ; mais, si ce n'est dans quelques endroits exceptionnels où le câble prend ses points d'appui sur des crêtes déchirées, cette altération n'a pas la gravité qu'on lui attribue. Que peut-il arriver, au pis aller? Que l'armature disparaisse complétement... Elle serait remplacée par une enveloppe de coquilles, de coraux, de produits sous-marins qui substitueraient à l'ancienne armature une sorte de cuirasse naturelle. Tout le malheur s'arrêterait là, car la gutta-percha et la composition de Chatterton, je ne dirai pas seulement se conservent, mais s'améliorent dans l'eau de mer. — C'est ainsi, comme le constate M. Lastner Clarke, que la conductibilité du câble de 1865 est devenue parfaite. La gutta-percha a acquis, par son séjour dans l'eau salée, une qualité supérieure. Cette action de l'eau de mer est si efficace et si rapide que le nouveau câble

[1] La *Télégraphie électrique*, par M. Gavarret.

fonctionne de mieux en mieux, d'une manière sensible, à mesure qu'il vieillit.

Ainsi constitué, avec sa corde conductrice, avec ses enveloppes isolantes, son tampon intérieur et son armature métallique, le câble sous-marin est complet. Celui qu'on vient de jeter à travers l'Océan comprend toutes ces parties. Il a un diamètre total de vingt-sept millimètres ; il pèse, dans l'eau, quatre cents kilogrammes, et, dans l'air, huit cent soixante-cinq kilogrammes par kilomètre, ce qui fait environ trois mille cinq cents tonnes pour la traversée, sans compter les accessoires.

Il nous reste à présent quelques mots à dire de l'émission du câble.

Les uns pensent que le meilleur moyen de procéder à cette opération est d'enrouler le câble sur des treuils. C'était l'avis de l'amiral Labrousse et de l'ingénieur Froment. Les autres redoutent de recourir à ces immenses et dangereuses machines. Pourquoi, disent-ils, tout cet attirail? Pour éviter les torsions qui tendent à former des coques et amènent presque toujours la rupture? On atteint ce but d'une manière moins dispendieuse et plus sûre en *lovant*[1] le câble en S, ou bien en l'enroulant comme à l'ordinaire, pourvu qu'on ait soin, à mesure qu'on sort le câble de la cale, de lui imprimer un mouvement qui annule la torsion.

« D'après ces difficultés, dit M. Delamarche, dans une remarquable étude qu'il a publiée, il y a quelques années on s'explique comment bien des personnes ont été amenées à demander la suppression de l'armature ou ont cherché à alléger le câble, au moyen de substances additionnelles plus légères que l'eau. Mais toutes ces substances, une fois parvenues à quelques centaines de mètres, se trouvent soumises à d'énormes pressions, s'imprègnent d'eau de mer et acquièrent bientôt la même densité qu'elle. Il faut aussi ne pas oublier que ces substances allégeantes ont un volume considérable et qu'on est déjà bien assez encombré par le câble... En résumé, s'il fallait choisir entre se passer d'armature et employer des matières allégeantes, mieux vaudrait, je crois, prendre le premier parti. Mais, jusqu'aux profon-

[1] *Lover* un câble, c'est l'enrouler sur lui-même, le disposer suivant une courbe déterminée.

deurs de cinq mille mètres, il n'y a pas péril en la demeure, et, dans mon opinion, la pose du câble transatlantique offre de grandes chances de succès. » Ces prévisions se sont réalisées : New-York est aujourd'hui aux portes de Londres !

Enfin, quelle espèce de bâtiment doit-on affecter au transport et à la pose d'un câble ? Cela dépend évidemment de la traversée qu'il s'agit d'effectuer. Dans tous les cas, on doit choisir un vaisseau à vapeur, à cause de la force dont on dispose sur un pareil navire, à cause de la stabilité qu'il possède, à cause enfin de la libre surface de son pont que n'embarrassent ni mâtures, ni cordages. Quant à la puissance du vaisseau, elle varie nécessairement suivant le poids à emporter et la distance à parcourir.

Lors des premiers essais de télégraphie transatlantique, en 1857 et 1858, deux navires furent employés pour le transport et la pose du câble, le *Niagara* et l'*Agamemnon*. Il s'agissait, en effet, de prendre à bord, de disposer et de manier sans gêne un câble, moins lourd, il est vrai, que celui qui fonctionne aujourd'hui, mais encore très-pesant, sans parler du matériel et du personnel que nécessite une pareille entreprise.

L'immense vaisseau dont le lancement exigea toutes les ressources de l'industrie moderne, le *monstre des mers* que Brunel construisit pour desservir le mouvement des voyageurs et le trafic des marchandises entre l'Angleterre et l'Australie, lorsque la découverte des gîtes aurifères y appela à la curée des milliers d'émigrants, le *Great-Eastern*, en un mot, semble avoir été conçu en prévision de la pose d'un câble transatlantique. Il peut emporter cinq mille cinq cents tonnes de charbon, provision suffisante pour faire plus de mille lieues d'une seule traite, et prendre à bord quatre mille passagers et un fret de six mille cinq cents tonnes.

C'est lui, c'est ce vaisseau calomnié, dont un marin habile sait se rendre maître comme un écuyer d'un cheval docile, « qui, aujourd'hui réhabilité, a servi à l'accomplissement de l'œuvre la plus difficile, la plus aventurée et peut-être aussi l'une des plus fécondes de notre époque. Il était le seul navire capable de l'accomplir, parce qu'il est le seul auquel ses dimensions et sa solidité permettent de porter un pareil fardeau et de dominer la mer au même degré. Il a rendu à son auteur, l'ingénieur le plus brillant

du siècle, l'estime que le public restitue toujours avec empressement et reconnaissance aux esprits hardis et initiateurs[1]. »

II

Les plus anciens essais de communication électrique au moyen des câbles sont de date récente. La première expérience de ce genre eut lieu dans les Indes. Calcutta en fut le théâtre.

On sait l'importance chaque jour croissante de cette capitale de l'Inde anglaise, dont la population, en y comprenant les faubourgs, qu'il est impossible de ne pas confondre avec la ville, s'élève à 1,200,000 habitants.

Calcutta, cité active, aux richesses incomparables, au commerce immense, s'étend en grande partie sur la rive gauche de l'Hoogly, grand bras du Gange, formé par la jonction des deux bouches les plus occidentales, le Cossimbazar et le Djellinghi.

« Les plus grands vaisseaux y trouvent un ancrage aussi commode que s'ils arrivaient sur la Tamise, au-dessous du pont de Londres. Mais, tandis que la ville centrale et Westminster ne voient que des bateaux sans importance accoster leurs quais informes, les superbes quais de Calcutta peuvent être abordés par les navires des deux mondes, dans l'espace d'une lieue au-dessus de la citadelle...

« Sur la rive droite, en face de la ville, est un faubourg populeux qu'on appelle l'Howrah. Il est surtout habité par des maîtres constructeurs et des ouvriers de navires qui vivent auprès des chantiers de commerce ; c'est le Brooklyn de la New-York asiatique.

« Ce faubourg prend une importance nouvelle, aujourd'hui qu'il est devenu le point d'aboutissement de la grande voie ferrée qui porte le nom de chemin de l'Inde orientale, *East-India railway* Là sont établis les vastes magasins et les ateliers nécessaires à cette voie qui remonte la vallée du Gange pour passer à Patna, Bénarès, Allahabad et Delhi[2]. »

On conçoit, d'après cette description rapide, l'intérêt qui

[1] *Navigation à vapeur transocéanienne*, par M. Eugène Flachat, ingénieur. Paris, 1866.

[2] *Forces productives des nations*, par le baron Charles Dupin.

porte à rattacher de toutes les manières le faubourg d'Howrah à la ville proprement dite. Mais, pour opérer cette jonction, on voit qu'il faut traverser le *bras sacré* du Gange dont la largeur, en aval du fort William, est de 1,200 mètres; qui a encore 600 mètres au pied de la forteresse, et près de 500 dans sa partie la plus étroite, vis-à-vis du centre de Calcutta.

Ce fut dans le but de relier les deux rives de l'Hoogly que fut jeté le premier câble électrique. C'était en 1839. Il y avait juste 90 ans que Franklin, sur les bords du Schuylkill, aux portes de de Philadelphie, avait fait le premier essai de télégraphie électrique!

Un an s'était à peine écoulé depuis l'immersion du câble indien, lorsque M. Wheatstone parla de relier les rives des grands détroits.

En 1843, M. Morse écrivit au secrétaire de la trésorerie des États-Unis une lettre, restée célèbre, dans laquelle il indiqua le moyen, non plus seulement de franchir les détroits, mais de traverser les plus grandes mers.

Ce qui alors faisait surtout défaut aux inventeurs, c'était la substance isolante. L'importation en Europe de la gutta-percha vint à point. En 1850, M. de Brett put jeter de Douvres au cap Grinez un fil isolé au moyen de cette matière. L'expérience fut décisive. Malheureusement, la correspondance ne fut pas de longue durée : le fil, ballotté sus les rochers des côtes, ne tarda pas à se rompre.

Quoi qu'il en soit, 1850 n'en est pas moins une année mémorable dans l'histoire de la télégraphie sous-marine. C'est la date à laquelle les idées, les rêves, les chimères des inventeurs entrent dans le domaine des faits accomplis.

A partir de ce moment, les expériences se multiplient. Et d'abord, en 1851, Douvres et Calais sont reliés d'un manière définitive.

Le réseau des lignes sous-marines s'est depuis étendu dans tous les sens; chaque jour ajoute une maille à sa vaste trame. De Londres, qui jusqu'à présent paraît le centre du système, rayonnent des fils, rattachant l'Angleterre à tous les points de l'Europe, à l'Asie jusqu'aux Indes, et à l'Amérique.

En 1857, une puissante compagnie résolut d'aller toucher le nouveau monde par le chemin le plus court. Il existe, dans l'Océan, un vaste fleuve dont les eaux, sorties du golfe du Mexique

comme d'une immense chaudière, sont destinées aux Iles Britanniques, à la mer du Nord et à l'océan Glacial ; c'est le *Gulf-Stream*, si magnifiquement décrit, dans un de ses derniers livres, par notre historien-poëte Michelet. Dans ce trajet, il suit à peu près la ligne la plus directe. — On prit pour tête de ligne Terre-Neuve et Valentia, ce qui permit de suivre presque toujours ce courant, ou du moins de ne faire avec *ce fleuve de la mer* que des angles très-aigus.

La route une fois tracée, on construisit un câble gigantesque. Ce câble, nous l'avons dit, se composait d'une tresse de sept fils de cuivre. Trois couches de gutta-percha isolaient le conducteur. Quant à l'armature extérieure, elle consistait en dix-huit torons de fils de fer. Entre l'armature et l'enveloppe isolante était un matelas de filin goudronné. Le câble, dont le diamètre total ne dépassait pas un centimètre et demi, coûtait 1 fr, 40 cent. le mètre, soit, pour 4,000 kilomètres environ, 5,600,000 fr.

Comme les armatures métalliques ne peuvent être employées, à moins de dispositions particulières, que jusqu'à une certaine profondeur, il avait été indispensable, avant d'arrêter la constitution du câble, de connaître l'orographie de l'Océan entre Valentia et Terre-Neuve.

Les sondages des capitaines Berryman, Stenham et Parker avaient donné des chiffres effrayants : 10 kilomètres, 12 kilomètres, 17 kilomètres... Cependant Maury affirmait qu'il n'y a pas d'aussi grandes profondeurs entre l'Irlande et Terre-Neuve ; il soutenait qu'entre ces deux îles s'étend un véritable *plateau télégraphique*[1]. — On prit le parti de recommencer les sondages avec des appareils analogues à ceux dont M. Delamarche s'était servi avec succès entre les Baléares et Alger. L'*Artic*, des États-Unis, et le *Cyclops*, navire anglais, constatèrent qu'en effet il existe, depuis le cap Race, à Terre-Neuve, jusqu'au cap Clear, en Irlande, un vaste plateau situé à une profondeur de 3 à 4 kilomètres. La démonstration était complète. Non-seulement elle établissait l'existence du plateau, mais encore elle prouvait qu'au fond de la mer, dans ces régions, règne le plus grand calme. La surface, en effet, est couverte de bancs de coquilles fragiles. Or, ces coquilles si frêles sont intactes et aucun débris étranger ne les souille. — C'est là,

[1] *Géographie physique de la mer*, par Maury.

dit Maury, que doit reposer le câble électrique ; il serait assez près de la surface pour que la pose ne présentât pas de trop grande difficultés, et assez loin pour n'avoir à redouter ni chocs, ni courants, ni agents destructeurs d'aucune espèce. « Quant à ces animalcules que la sonde rapporte du fond de la mer, ils n'ont pas dû y vivre et y mourir. Ils ont sans doute vécu près de la surface, à portée de la chaleur et de la lumière, ces deux puissantes sources de la vie ; c'est seulement après leur mort que leurs dépouilles sont tombées dans les abîmes... Chacune des lames de l'Océan est comme un berceau ; la vie se répand de toutes parts dans les couches supérieures ; les profondeurs sont les champs de repos de tous ces êtres... A la surface une vaste crèche aux berceaux mouvants ; au fond, un immense ossuaire !

Le câble (nous avons déjà eu l'occasion de le dire) fut embarqué sur deux navires : l'*Agamemnon*, vaisseau anglais de 92 canons, prit à Greenwich la partie construite dans les ateliers de MM. Glass et Elliot ; le *Niagara*, des États-Unis, frégate de 5,200 tonneaux, se chargea de l'autre moitié, faite à Birkenhead, chez MM. Newall et Cᵉ.

Il avait d'abord été décidé, quand il s'était agi de régler d'avance la marche de l'opération à la mer, que les deux bâtiments gagneraient ensemble le milieu de la distance à parcourir ; que là, on ferait le joint des câbles, et que les deux navires se sépareraient ensuite, le *Niagara* gagnant l'Irlande, et l'*Agamemnon*, Terre-Neuve. Ce plan ne fut pas mis à exécution. — Au dernier moment, on convint que les deux bâtiments feraient route ensemble de Valentia à Terre-Neuve. Le *Niagara* devait filer sa portion de câble, puis l'*Agamemnon* la sienne. On pensait qu'en procédant de la sorte, le second navire pourrait profiter de l'expérience du premier. Il y avait d'ailleurs avantage, disait-on, à ce que l'un des bouts du câble fût assuré à terre avant le départ. On ajoutait qu'on ferait un utile apprentissage en passant des petites profondeurs aux grandes ; que, s'il arrivait une interruption de signaux électriques, on saurait immédiatement où est le mal ; enfin que les directeurs de l'entreprise pourraient être informés à chaque instant des péripéties de l'expédition. — Bref, le 5 août 1857, le *Niagara*, escorté de l'*Agamemnon*, et mouillé à 2 milles de la plage, fit porter à terre l'extrémité du *shore end* et mit ensuite le cap sur Terre-Neuve.

Les débuts ne furent pas heureux. A un mille du point de départ, le *bout côtier*, mal lové, se tordit et cassa. Cet accident fut bientôt suivi d'un second : lorsque le joint du bout côtier et du câble passa sur la roue, nouvelle rupture. On était encore en vue des côtes ; il fallut faire un nouveau joint.

Pendant plusieurs jours, la petite escadre continua sa route. — On filait quatre, cinq et même six nœuds.

Une nouvelle série de malheurs approchait. Deux fois le câble s'échappa des roues de conduite; deux fois on le remit en place ; puis, sans qu'on pût s'expliquer pourquoi, toute communication électrique cessa, et, dans les manœuvres qu'on fit pour rechercher la cause de l'interruption, il cassa, à trois brasses du niveau de l'eau...

Ce premier essai, bien qu'il eût été infructueux, fournit aux ingénieurs d'utiles renseignements. On reconnut qu'on avait débuté par une faute. — Tandis que l'*Agamemnon* avait mis bord à quai aux ateliers de Greenwich et amené le câble, lové d'avance dans de grands bassins remplis d'eau, en un seul rouleau de 15 mètres de diamètre et de 4^m 50 de hauteur, le *Niagara*, à cause de ses dimensions, n'avait pu prendre de même le câble à Birkenhead. « Quatre machines, dit M. Delamarche dans un rapport adressé au contre-amiral Mathieu, quatre machines avaient fourni quatre pièces de câble, qui chacune avait été embarquée d'abord sur un grand chaland, et, de ce chaland, à bord, à main d'homme. En outre, on n'avait pas pu, comme sur l'*Agamemnon*, tout lover en une seule glène. Il avait fallu en avoir cinq, à peu près circulaires, de 13 mètres de diamètre environ. Il y en avait une sur le pont, à l'arrière de la machine; une au-dessous, dans la batterie, qui avait pris une partie du carré des officiers, et trois sur l'avant de la machine, dans la cale, le faux-pont et la batterie. »

Ces dispositions avaient compliqué le travail du chargement. Au lieu d'éviter avec soin les torsions, on n'y avait apporté qu'une attention médiocre ; on n'en connaissait pas encore les conséquences funestes.

Plus tard, en route, lorsque le câble avait par deux fois *décapelé*, on l'avait brutalement traité à coups d'haussières. Enfin toute la machinerie était grossière, lourde, enchevêtrée... Il n'en faut pas tant pour amener un échec.

La compagnie se tint pour avertie, mais non pour battue. C'était une leçon cruelle; elle chercha à en profiter. Elle se remit à l'œuvre, et tint compte des incertitudes, des erreurs, des fautes de son début. En moins d'un an, elle fut prête à faire une nouvelle tentative.

L'*Agamemnon* et le *Niagara* reprirent la pleine mer. — Cette fois, ils naviguèrent ensemble jusqu'au milieu de l'Océan. Là ils se séparèrent, après avoir opéré la jonction, ou, comme on dit en terme de marine, l'*épissure* des deux câbles... Le 8 août 1858, un télégramme parti de la baie de la Trinité, à Terre-Neuve, annonça à l'Irlande l'arrivée du *Niagara !*

Nous ne rappellerons pas les transports de joie que cette nouvelle causa à New-York et à Londres. Capitaines et ingénieurs furent portés en triomphe. On organisa des fêtes internationales. Les actions de la compagnie triplèrent de valeur.

Hélas ! l'expérience de 1857 avait appris à poser le câble de 1858, mais elle était restée muette sur la valeur du câble lui-même. — Après avoir transmis quatre cents télégrammes, au commencement de septembre, les dépêches devinrent irrégulières; il y eut des incohérences, du délire, des interruptions ; puis l'aiguille des récepteurs resta immobile !... On tomba de l'enthousiasme dans la consternation.

Avant de tenter un nouvel essai, il était sage de rechercher la cause de la détérioration si rapide du câble.

S'était-il rompu ? — Oui, répondirent des électriciens ; et si, pendant quelque temps, il a eu des retours à la vie et à la raison, c'est que les extrémités brisées, encore fraîches et polies, se sont touchées, et, par leur contact, ont rétabli momentanément la communication. Tel fut l'avis du docteur Conneau, qui publia sur ce sujet une brochure pleine de science et de pénétrante observation. — Non, répliquèrent d'autres savants ; non, le câble ne s'est pas rompu ; l'insuccès tient à d'autres causes. Les dernières préparations ont été conduites avec une précipitation regrettable ; on a eu le tort de céder à la pression de l'opinion, à l'impatience du public, à des motifs de spéculation. Les matières premières étaient bonnes; la confection a été mauvaise.

Ce qu'il y a d'incontestable, c'est que le câble était capable de résister à une charge de beaucoup supérieure à celle qu'il devait supporter. Mais, si sa solidité, sous ce rapport, était suffisante, en

était-il de même de l'enveloppe isolante ? On se rappela, mais un peu tard, qu'à Greenwich, le câble était resté pendant longtemps exposé aux rayons du soleil, ce qui avait fait fondre plusieurs milles de gutta-percha.

Il est donc probable, il est admissible, dans tous les cas, que l'interruption fut causée par un vice de fabrication, vice qui eut pour conséquence ultérieure l'altération du câble, et plus tard sa rupture.

Aussi, dans la grande expérience de 1865, les ingénieurs et les électriciens veillèrent-ils avec la plus scrupuleuse attention à la parfaite confection de l'enveloppe isolante.

Le câble, construit avec soin, revu et essayé dans ses moindres parties, fut amené sur le *Great-Eastern* et placé dans trois grandes cuves remplies d'eau ; les rouleaux, les freins, les poulies de renvoi, toute la machinerie d'émission, fut installée sur le pont. Plus de cinq cents personnes, matelots, ouvriers, ingénieurs, journalistes, etc., étaient à bord.

Au commencement du mois de juillet, le *Great-Eastern* se montra en vue de Valentia. Quand le joint du *shore end* et du câble fut terminé, on le vit se mettre en marche vers la pleine mer.

Pendant la nuit, on s'aperçut que l'isolement était imparfait. On s'arrêta, on releva le câble, et, après une journée de travail, on trouva planté dans l'armature, pénétrant profondément, un fil de fer aiguisé en pointe. On retira cette espèce de poignard qui plongeait jusqu'au cœur ; on pansa la blessure, et l'on dévida de nouveau le câble.

Durant cinq jours, tout alla à merveille ; puis, tout à coup, les mêmes symptômes que la nuit du départ se reproduisirent. Le câble fut de nouveau relevé, et, comme la première fois, on le trouva traversé par un fil pointu. Le mot de malveillance fut sur presque toutes les lèvres ; l'éveil fut donné. Les plus grandes précautions furent prises.

Ce fut en vain. Un accident du même genre se produisit pour la troisième fois. Se trouvait-il un coupable à bord? Il y avait quelque chose de plus pressé que d'ouvrir une enquête, c'était de trouver l'endroit endommagé. On se mit en devoir de le faire. Malheureusement, une certaine agitation causée par l'événement régnait sur le navire. Le relèvement d'un câble demande tou-

jours beaucoup de calme et de sang-froid. On fit une fausse manœuvre ; un frein se déplaça... Le câble se rompit... On était aux deux tiers de la route !

Ce fut à bord un véritable désespoir. L'ingénieur qui avait dirigé l'immersion, M. Canning, ne pouvait se résigner à quitter le théâtre de l'accident. Il affirmait que rien n'était perdu, qu'il allait repêcher le câble... Bien que l'entreprise parût incroyable, il communiqua sa ferme résolution et sa confiance à tout l'équipage. On jeta les grappins à la mer. Chacun suivit haletant l'opération. Trois fois on parvint à ramener le câble ; trois fois, au moment de le saisir, la corde du grappin cassa... On avait compté sur le succès ; on manquait du matériel nécessaire à un sauvetage. — Les officiers *firent le point* avec la plus grande exactitude, et le *Great-Eastern*, en deuil, reprit le chemin de Valentia.

Cependant les bruits les plus sinistres circulaient à Londres. Comme on ne recevait plus de nouvelles par le télégraphe, la rumeur s'était répandue qu'une violente tempête avait assailli l'expédition, et que le *Great-Eastern*, ainsi que les deux bâtiments de la marine royale qui l'accompagnaient, le *Sphinx* et le *Terrible*, avaient péri corps et biens. — On reçut donc avec joie la nouvelle de l'échec du *Great-Eastern*. Ce n'était qu'un insuccès ; on avait cru à un désastre.

Les ingénieurs se recueillirent. Tout bien examiné, ils reconnurent que le *Great-Eastern* tenait parfaitement la mer, que le câble était bon, que la machinerie d'émission fonctionnait bien, que les freins et l'appareil de relèvement laissaient seuls à désirer.

Le Conseil de la Compagnie se réunit d'urgence et décida qu'il y avait lieu de reprendre l'entreprise. Le mois d'août touchait à sa fin. L'équinoxe approchait, avec son cortége de tourmentes. On remit le nouvel essai à la campagne prochaine.

Les financiers battirent monnaie. — Il fallait, pour recommencer, disposer d'un fonds social de 600,000 livres sterling ; on le divisa en soixante mille actions qui ne tardèrent pas à être souscrites.

Le 13 juillet 1866, six navires étaient en vue de Valentia : le *William-Cory*, chargé de la pose du *shore end;* le *Terrible*, l'un des vétérans de l'expédition transatlantique ; l'*Albany* et le *Medway*, navires de dix-huit cents tonneaux ; le *Racoon*, autre

vaisseau de la marine royale, et le *Great-Eastern*, avec son précieux chargement.

La science allait de nouveau livrer bataille à l'inconnu.

L'ordre du combat fut fixé de la manière suivante : le *Terrible* en avant, avec mission d'écarter tous les obstacles et de frayer le passage : — derrière, à une certaine distance, le *Great-Eastern*, flanqué à bâbord de l'*Albany*, et à tribord du *Medway* ; — à l'arrière-garde, le *Racoon* veillait sur le départ. — Quant au *William-Cory*, sa tâche était accomplie : il avait livré au *Great-Eastern* l'extrémité du câble côtier, dont une bouée indiquait la position, à cinquante-cinq kilomètres du rivage.

Le départ s'effectua au bruit des hurrahs et des coups de canon.

Les incidents et le dénoûment du grand drame qui allait se jouer sur l'Océan sont consignés dans le journal rédigé par M. Deap, secrétaire de la Compagnie anglo-américaine :

Le 14 juillet, on est à cent trente-cinq milles des côtes. Un télégramme apporte à l'escadre les sympathies et les encouragements du peuple irlandais. Le câble donne un mot et demi par minute.

C'était, on se le rappelle, l'époque où la moitié de l'Europe était en armes. Le 15 juillet on apprend à bord la marche de Cialdini sur Rovigo, et l'envoi à Venise de commissaires français. On s'arrache le *Great-Eastern Telegraph*, journal lithographié sur le navire et paraissant deux fois par jour.

Le 16, à midi, on est à trois cent soixante dix-huit milles de Valentia. La longueur du câble filé est de quatre cent vingt milles. — La première édition du journal parle de l'apparition du choléra à Liverpool et de l'incendie de Portland. On a aussi des nouvelles d'Italie. L'équipage peut suivre sur la carte les évolutions des corps d'armée. — Avant les événements curieux, les renseignements indispensables : tous les jours ont reçoit l'heure de l'Observatoire de Greenwich. Le *Great-Eastern* la transmet, au moyen de signaux conventionnels, aux navires qui l'accompagnent. On rectifie la longitude.

Le 17 au matin, la portion de câble qui restait de l'expédition de 1865 est épuisée. La nuit a été superbe ; la mer est magnifique. La joie et l'espérance sont dans tous les cœurs.

Le 18 tout va bien jusqu'à cinq heures et demie du soir. A

cinq heures et demie, la sonnerie d'alarme se fait entendre. En un clin d'œil le navire s'arrête ; tout le monde est à son poste, le capitaine Anderson en tête. — C'est une fausse alerte. On en est quitte pour la peur.

Dans la nuit, nouveau signal : cent cinquante mètres de câble sont enchevêtrés ; des coques se sont produites ; on craint une rupture. Pour comble de malheur, le temps a changé. Le vent souffle avec violence. La situation est critique. On prend toutes les mesures prescrites en cas d'accident ; les bouées sont préparées. Le jour qui point éclairera-t-il un nouvel échec ? — Le capitaine Anderson, qui n'a pas quitté le gouvernail, encourage ses matelots ; M. Canning, ses ouvriers. Le câble se débrouille. Un cri s'échappe de toutes les poitrines : *All's right*... Tout est sauvé !

La journée du 19 est pénible ; la mer est mauvaise ; le *Terrible* a disparu dans le brouillard. On marche à tâtons par quatre mille mètres de profondeur.

Le 20, la mer se calme, le temps s'éclaircit ; on se retrouve. On a suivi une route à peu près parallèle à celle de 1865, en se tenant à cinquante kilomètres au sud. — Le réservoir de l'arrière s'est vidé. Le câble part maintenant du réservoir de l'avant et traverse le pont dans toute sa longueur. — On est dans le voisinage du point où la rupture s'est produite l'année précédente ; l'équipage ne peut se défendre d'une certaine émotion.

Les jours suivants, rien de remarquable. L'isolement du câble est parfait. Quoiqu'on soit par les plus grandes profondeurs, la tension ne dépasse pas les limites prévues. La mer est redevenue splendide. — Plusieurs fois par jour on reçoit des nouvelles d'Europe. Par une sorte de défi jeté aux obstacles naturels, M. Field demande et obtient des nouvelles de l'Inde et de la Chine.

Mais voici que les brouillards recommencent ; la marche est difficile et périlleuse. Les brumes deviennent de plus en plus épaisses. Le *Terrible* va en éclaireur en faisant siffler sa machine.

Enfin, le 27, à huit heures du matin, le rideau se déchire. — Terre ! C'est *Heart's-Content* paré pour une fête... Les couleurs d'Angleterre se mêlent aux couleurs des États-Unis... Les deux mondes se donnent la main...

A cette heure même, au moment où un cri de triomphe part à

la fois des navires et du rivage, le capitaine Anderson, grave et pensif au milieu des transports de joie, montre, à l'horizon, une masse blanchâtre qui s'éloigne... Ce sont des montagnes de glace qu'une main invisible a écartées de sa route !

Telle est, en résumé, l'histoire du câble transatlantique. — Il y aurait là de quoi gonfler d'orgueil le cœur de l'homme, si, dans le spectacle même de sa puissance, n'apparaissait le signe de sa faiblesse. Que seriez-vous devenus, pauvres pionniers, si ces montagnes flottantes, que le capitaine Anderson montrait du doigt, étaient venues heurter cette frêle embarcation que vous nommez navire géant ?

Quelque grand que fût son succès, l'ingénieur de l'expédition ne se tint pas pour satisfait. Se dérobant aux ovations, il reprit à la hâte la route de l'Europe.

Vers le milieu du chemin, il pria le capitaine de *courir des bordées* sur une ligne dont il indiquait la direction...

Quand le télégraphe transatlantique fit savoir à Valentia pourquoi le *Great-Eastern* avait viré de bord, bien des gens ne voulurent pas y croire. — M. Canning allait chercher le câble de 1865 !... Tâche impossible, qui coûtera, en pure perte, plus que la pose d'un nouveau câble !... Tâche accomplie. Le message qui l'a appris à l'Irlande lui est parvenu par le câble retrouvé...

La science et la foi sont maîtresses du monde.

III

Au point de vue scientifique, la pose du câble transatlantique est l'entreprise la plus hardie, la plus splendide, qu'ait imaginée et accomplie le génie humain ; — au point de vue financier, est-ce une bonne opération ?

Examinons la question sous cette nouvelle face, et cherchons à la résoudre, non en amoureux platonique des grandes conceptions, mais froidement, en économiste et en homme d'affaires.

Nous avons dit que la Compagnie anglo-américaine a été fondée au capital social de 600,000 livres sterling, soit, en nombre rond, 15 millions de francs. Ce capital a été souscrit à la condition de donner un revenu de 25 pour 100 par an, plus la moitié

dans les bénéfices, après le prélèvement des intérêts dus aux actionnaires des câbles précédents.

D'autre part, les expériences de 1857 et de 1858 ont coûté environ 12 millions, et 15 millions se sont trouvés engagés dans celles de 1865.

De plus, à cette époque, il a été décidé que les actions émises, actions pour lesquelles on avait établi des coupures de 5 livres, afin de les rendre plus facilement accessibles, donneraient 8 pour 100 par an ; puis, pour ne sacrifier personne, pour ménager les intérêts des premiers souscripteurs, que l'ancien capital de 12 millions prendrait, sur les excès de recette, un intérêt de 4 pour 100, le reste devant servir en partie à former un fonds de réserve pour reconstituer le capital englouti.

Le câble transatlantique a donc coûté, depuis l'origine, 12 millions, une première fois ; 15 millions ensuite ; et enfin 15 autres millions ; total, 42 millions de francs, en estimant largement les dépenses. Mettons 50 millions, pour parer aux frais accessoires et à toutes les charges accidentelles et imprévues.

Que doivent produire ces 50 millions pour que la Compagnie puisse faire honneur à ses engagements ?

25 pour 100 à prélever, avant tout, sur les bénéfices ; 8 pour 100 à distribuer aux actionnaires de 1865, et 4 pour 100 destinés aux premiers souscripteurs ; total, 37 pour 100, ou, pour prendre encore une fois un nombre rond, 40 pour 100 par an.

La question à résoudre est donc celle-ci :

La Compagnie transatlantique peut-elle compter sur un revenu de 20 millions ?

La réponse est facile.

Le câble qui, au commencement de la pose, ne donnait qu'un mot et demi par minute, donne aujourd'hui six mots en moyenne. Or, la dépêche de vingt mots coûte 500 francs, et la durée du travail quotidien est de vingt heures. — En un jour de vingt heures ou douze cents minutes, on peut donc transmettre sept mille deux cents mots, ou trois cent soixante dépêches ; disons trois cents. Par suite, la recette peut s'élever, en n'utilisant qu'un seul câble, à 150,000 francs par jour, soit, par an, 54 millions, c'est-à-dire plus que le capital dépensé. Il y a là une source de revenus surabondante pour servir tous les intérêts et reconstituer, dans un bref délai, les capitaux employés.

Le prix de la dépêche (500 francs pour vingt mots) n'a pas, comme on le pressent, été fixé arbitrairement. On l'a déterminé en vue de produire de gros bénéfices capables de parer à toutes les éventualités. Maintenant que deux câbles fonctionnent et que leur existence est assurée, le taux primitif peut et doit être abaissé dans une proportion notable.

Mais pour que les recettes atteignent le chiffre énorme sur lequel nous appuyons nos raisonnements, il faut que la durée du travail journalier soit de vingt heures, à raison de six mots par minute. N'y a-t-il pas à craindre, avec le prix élevé des dépêches, qu'il n'y ait des instants de chômage et, par suite, des causes de déficit? Non! Qu'est-ce, en effet, que trois cents dépêches pour tant de millions d'hommes que le télégraphe met en relation? La ligne de Malte à Alexandrie, qui n'est certainement pas à comparer à la ligne transatlantique, fournirait, coûte que coûte (nous en pouvons juger par les affaires qui se traitent sous nos yeux), plus de cent dépêches par jour. Or, l'Égypte est loin d'avoir l'importance agricole, industrielle, commerciale et politique des États-Unis.

Aujourd'hui que les fortunes des nations sont confondues, les plus gros intérêts oscillent et se déplacent à chaque instant à travers le monde. Aussi, selon nous, ce qu'il y a lieu de craindre, c'est non pas qu'il se présente un nombre trop faible de dépêches, mais que les câbles soient insuffisants pour la correspondance. Qu'on songe au nombre immense de bâtiments de toutes provenances qui sillonnent l'Océan, et à la quantité de bateaux à vapeur qui font un service journalier, et l'on concevra sans peine la sécurité dans laquelle vivent les actionnaires de la Compagnie anglo-américaine. Pour ne citer que l'Angleterre, combien n'y a-t-il pas, sans sortir de chez elle, de négociants et d'armateurs dont les navires se croisent en mer et qui ont le plus grand intérêt à la rapidité des rapports, à l'instantanéité des transactions? Passons-nous des individus aux gouvernements? N'est-il pas pour eux de la plus haute importance de n'avoir qu'un signe à faire pour diriger leurs ambassadeurs, leurs soldats et leurs vaisseaux dans leurs possessions lointaines? Parlerai-je de la suppression des embarras et des lenteurs de la diplomatie? Faisons-les ressortir au moyen de quelques exemples. Au mois de mars 1866, mille volontaires autrichiens vont s'embarquer à Trieste

pour la Vera-Cruz. Si l'embarquement a lieu, le ministre des États-Unis demande ses passe-ports, et, ce qui est plus grave encore, la marine américaine arrêtera le transatlantique français qui conduit les enrôlés au Mexique. — L'Autriche a gardé ses enfants; elle en a eu besoin à Sadowa; toutes les colères se sont apaisées; mais, pendant plus de quinze jours, nous avons vécu dans une incertitude qu'un télégramme nous eût épargnée.

Vers la même époque, la paix était compromise d'un autre côté. — Le traité de réciprocité conclu entre les États-Unis et l'Angleterre venait d'expirer. Les colonies anglaises allaient retomber sous l'empire du traité antérieur de 1818. Comme les matelots yankees et canadiens ne s'entendent pas en politique commerciale aussi bien que les négociants de New-York et de Londres, ils menaçaient d'en venir aux mains. On eut toutes les peines du monde à éviter une collision. Un télégramme aurait empêché que ces dissentiments prissent des proportions inquiétantes.

Mais le trait le plus saisissant est celui que rappelle M. de Marcoartu dans son plan de télégraphie transocéanienne.

Nous sommes en 1851. En vue de Cuba, le navire américain le *San Jacinto* a capturé la malle anglaise. Le gouvernement anglais demande satisfaction. En prévision d'une guerre possible avec les États-Unis, il fait d'immenses préparatifs. Vingt-cinq jours s'écoulent pour l'échange des pièces diplomatiques. Pendant ces vingt-cinq jours, l'Angleterre est en proie à une crise affreuse et dépense, pour se tenir prête à l'offensive, plus de 25 millions de livres sterling.

On reçoit enfin la réponse du président Lincoln. Est-ce la paix ou la guerre? C'est la paix; il offre une juste réparation.

Une dépêche électrique de 500 francs aurait évité la crise et permis d'économiser plus de 600 millions!... Les astronomes nous apprennent que certaines étoiles que nous voyons de nos yeux ne sont plus que des apparences dues aux distances énormes que doit parcourir la lumière. Ils nous disent que ces astres ont souvent disparu depuis des siècles. — Avant l'établissement des câbles transocéaniens, il aurait pu arriver, à propos d'un État d'Amérique, un phénomène analogue.

On a fait à l'entreprise transatlantique beaucoup d'objections. On a prétendu, par exemple, que l'existence du câble est précaire, qu'il faut se hâter de s'en servir pour procéder au calcul de

la différence de longitude des stations extrêmes. On a dit plaisamment que ce serait là le seul dividende dont les actionnaires auraient à toucher le coupon. Le mot est spirituel, mais inoffensif. Le câble a de longs jours à vivre. Sans doute il vieillira, comme le font toutes les choses de ce monde ; mais il ne faut pas pousser la prudence jusqu'à la pusillanimité et crier au feu parce qu'une étincelle s'échappe du foyer. On a d'ailleurs, pour faire raison de cette critique, un motif de plus qu'à l'époque où elle a été lancée contre le fil sous-marin de 1866. Le câble de l'année précédente qu'on disait perdu, et perdu non-seulement parce qu'il était puéril de le chercher au fond de la mer, mais parce qu'au bout d'un an de séjour dans l'eau salée, il ne devait plus être bon à grand'chose, proteste tous les jours contre ces prédictions.

Il est vrai que, jusqu'à présent, les câbles dont on s'est servi se sont altérés assez vite ; mais la télégraphie sous-marine était hier dans l'enfance. Elle a fait de grands progrès depuis quelques années, et aucun des câbles sur lesquels on raisonne n'a été construit avec autant de chances de succès que celui qui traverse l'Océan.

On peut dire, en outre, que l'heure des grands dangers est passée, car, une fois la pose faite dans de bonnes conditions, les causes de rupture ou d'interruption sont restreintes. Nous avons déjà vu que la profondeur à laquelle le câble repose, loin d'être contraire, est favorable à la transmission de l'électricité. La principale source d'usure est l'électricité même qui circule dans le câble ; or, cette quantité est si faible que, pour la mesurer, il a fallu imaginer des appareils d'une extrême délicatesse.

Il y a aussi l'usure par le frottement sur les rochers... Dans les régions où gît le câble, règne, nous l'avons vu, un repos profond. Le calme n'y est troublé que par les travaux de ces artisans microscopiques qui, dans des périodes séculaires, bâtissent des mondes. Leur action lente et continue tend plutôt à refaire une carapace au câble qu'à le dépouiller de celle qu'il possède.

Il y a enfin les convulsions sous-marines, les tremblements de terre, les dislocations du sol, qui peuvent saisir le câble dans des tenailles gigantesques et le briser. Rien de plus vrai ; mais ce sont là des phénomènes accidentels qui ne se produisent qu'à de rares intervalles. Au fond des mers, comme dans l'univers entier, l'équilibre est la loi générale, et le trouble, l'exception.

IV

Nous arrivons enfin à la question des itinéraires.

On peut les diviser en deux groupes : les routes du levant, les routes du couchant ; — les premières tendant à relier l'Asie avec l'Amérique occidentale, — les secondes conduisant, à travers l'Océan, aux côtes orientales d'Amérique.

Celle des lignes orientales dont on a peut-être le plus parlé, jette un câble à travers le détroit de Behring. Le peu de largeur de ce détroit rend l'opération facile, car on ne compte pas plus de cinquante milles d'une rive à l'autre, au point qu'on a choisi.

Un autre tracé, au lieu de s'élancer de ce côté, arrive, par les Kouriles, à Petropavlosk, dans le Kamtchatka, suit la traînée des Aléoutiennes, et atteint l'Amérique russe. Ses points de mire sont San Francisco et Panama [1].

La voie de Behring, essentiellement russe, ne nous paraît pas appelée à une grande activité. Le mouvement des échanges est faible, les rapports sont rares et la plupart du temps difficiles, dans les régions désertes ou glacées qu'elle traverse.

La ligne des Aléoutiennes a plus d'avenir ; mais remplacera-t-elle jamais, pour nous apporter les nouvelles américaines, le câble transatlantique ? Nous ne le pensons pas. Par cette voie, en effet, les dépêches nous arriveraient moins vite que par les steamers des États-Unis. Au contraire, s'il s'agit de relier l'Amérique centrale, le Mexique, la Californie, l'Orégon, la Nouvelle-Bretagne et l'Amérique russe à des pays où les richesses regorgent, au Japon, à la Chine, à la Cochinchine, aux Indes et à l'Australie, elle est appelée à rendre d'éminents services. Quant à la Russie d'Asie, dans l'état actuel, elle offre peu de ressources. A peine, sur l'immense étendue qu'elle occupe, compte-t-on une population double de la population parisienne. Il y a bien, il est vrai, quelques villes importantes en Sibérie, telles que Kiakhta, sur la frontière chinoise ; Irkoutsk, Tobolsk, etc. ; mais, lorsque à partir de Kiakhta on re-

[1] On sait que l'Amérique septentrionale est traversée, depuis le 25 octobre 1861, par une ligne de 5,000 milles, qui relie San Francisco et le cap Race.

monte vers le nord, on trouve à peine quelques comptoirs que la Compagnie américaine soutient à force d'industrie et de volonté. Toutefois, comme un savant membre de l'Institut, M. Maury, nous le faisait très-judicieusement remarquer, il y a quelques jours, il serait imprudent de juger de l'avenir de ce pays par son présent. La Chine, en effet éclate de pléthore et envahira la Sibérie dans un temps donné.

Le spectacle est tout différent lorsqu'on marche vers les Indes. De ce côté on trouve, dès à présent, la vie, l'abondance, la richesse et toute la profusion d'une nature exubérante. La ligne qui relierait les Indes à la Californie et compléterait autour du globe la ceinture interrompue par l'océan Pacifique, aurait devant elle de très-beaux horizons.

Déjà le télégraphe relie les grands centres européens à Calcutta. — Tandis que Londres touche à New-York et que New-York donne la main à San Francisco, la ligne est continue des bouches de l'Indus à Londres.

Jetons un coup d'œil rapide sur son parcours.

De Calcutta à Gwadel, petite ville du Beloutchistan, près de la frontière du Kélat, la ligne est aérienne.

A Gwadel, la partie sous-marine commence ; le câble longe la côte montagneuse du Mekran. — A travers le détroit d'Ormuz, il gagne une petite île rocheuse située au pied du cap Mussendom, à l'entrée du golfe Persique, où se termine la première étape.

Le câble court ensuite vers le comptoir persan de Bushir ; puis de Bushir, au fond du golfe, vers Fao, sur le Chat-el-Arab [1].

Là, les fils aériens recommencent ; ils relient Fao à Bassorah, Bassorah à Mossoul, Mossoul à Diarbékir, Diarbékir à Sivas, et enfin Sivas à Scutari, sur le détroit de Constantinople. — Tracé hardi, qui met les Indes sous la main de l'Angleterre et comme à portée de sa voix ; mais route audacieuse où l'on compte plus d'un passage périlleux !

Le poste télégraphique de Mussendom, par exemple, est obligé

[1] Tout ce tracé a été établi sous l'inspiration et la direction du colone Stewart, à qui revient l'honneur d'avoir organisé le système télégraphique de l'Inde.

d'avoir un arsenal pour tenir en respect les populations à demi sauvages des villages tributaires de l'iman de Maskate.— Entre Bassorah et Bagdad, autres dangers. Les Arabes vivent dans un état de révolte perpétuelle, latente ou déclarée, contre le pouvoir des Turcs. Pendant longtemps, il fut impossible de relier électriquement ces deux points : les tribus s'étaient soulevées. Il fallait que des messagers portassent, à franc étrier, les dépêches d'une ville à l'autre. — Afin de prévenir de pareilles interruptions, un rejet télégraphique a été dirigé de Bushir vers Chiras, Ispahan, Téhéran, Tiflis et la Russie, ou bien, par un retour vers la route de Constantinople, de Téhéran à Bagdad.

La ligne du golfe Persique met cinq jours, en moyenne, pour donner à Londres des nouvelles de Calcutta. Que l'on suppose un temps égal pour aller de Calcutta à New-York, par San Francisco. et l'on voit que la dépêche électrique arrive moins vite qu'une lettre confiée aux paquebots transatlantiques. — Plus tard on reprendra sans doute la ligne sous-marine qui va de Suez aux bouches de l'Indus, ligne si fatalement interrompue il y a quelques années ; mais, par Suez ou par Bagdad, les pertes de temps, difficiles à prévenir chez nous à travers tant de stations télégraphiques, inévitables quand on a pour agents des Orientaux, laisseront longtemps encore à la voie des Indes sa lenteur et ses incertitudes.

Il faut remarquer d'ailleurs que, quand le télégramme est à Scutari ou à Tiflis, tout n'est pas dit ; il a encore une trajectoire compliquée à parcourir. Pour aller à Londres, par la voie russe, il faut qu'il traverse la Russie, qu'il aille à Berlin, qu'il passe en Hollande et qu'il franchisse la mer. Par Constantinople, le chemin n'est pas plus simple : il faut envoyer le télégramme à Salonique, puis en Italie, à travers le canal d'Otrante ; lui faire longer les Apennins, escalader les Alpes, pour arriver à Paris et passer la Manche ; — ou bien, si l'on ne veut pas prendre la voie de Salonique, il faut l'adresser à Vienne, à travers la Turquie, la Valachie, la Servie, etc., etc. [1].

[1] Dans cette étude des itinéraires, nous avons plus d'une fois mis à contribution la science de notre ami Ernest Morin, le courageux historien à qui l'on doit le rachat, par voie de souscription publique et spontanée, d'un monument auquel se rattachent de patriotiques souvenirs : la tour où Jeanne Darc fut enfermée, à Rouen, avant de marcher au supplice.

Concluons :

Les Indes sont le centre de la correspondance avec l'Amérique occidentale, avec le Japon, avec la Chine, avec la Cochinchine, et, par Singapore, avec l'Australie ; elles ne sont pas sur la route télégraphique de New-York.

Nous sommes ainsi conduits à reconnaître l'importance de la ligne de Valentia à Terre-Neuve pour les relations directes avec l'Amérique.

Cette voie n'est pas la seule qui ait été tracée vers l'Occident. — On a proposé une *ligne arctique* qui, pour trouver des points d'appui, suit le périlleux circuit de l'Écosse, des îles Feroë, de l'Islande et du Groenland, et arrive à New-York par le Labrador et le Canada. C'est précisément le chemin que les pirates du Nord suivirent, dans les audacieuses excursions qui les menèrent, cinq cents ans avant Christophe Colomb, jusqu'aux États-Unis, dans le Rhode-Island et le Massachusetts ; mais c'est aujourd'hui un bien long détour, pour prendre une précaution superflue et se mettre en relation avec une industrie et un commerce languissants.

D'autre part, la ligne de Valentia à Terre-Neuve est trop anglaise que nous ne cherchions pas à en établir une autre, sinon plus française, au moins internationale.

De quel côté tourner nos regards?

Il ne faut plus, pour le moment du moins, songer, comme on en a eu l'idée, à jeter un câble de Brest à Terre-Neuve, car la Compagnie anglo-américaine a obtenu le privilége d'atterrir dans tous ces parages.

Puisqu'il n'est pas possible de viser à la tête, visons au cœur, et, par Bordeaux, Lisbonne, les Açores, les Bermudes et les Lucayes, touchons les Antilles et la Floride.

L'inconvénient de ce plan est de franchir l'Océan dans sa plus grande largeur.

Un autre tracé, dû à M. de Marcoartu[1], abrége la traversée en allongeant le parcours. Il part du cap Saint-Vincent, en Portugal, passe à Porto Santo des îles Madère, à Ténériffe des Canaries, au cap Blanc, à Brava du cap Vert, à la roche de Longchamp, sous

[1] *Lignes télégraphiques sous-marines d'Europe en Amérique*, par M. de Marcoartu, ingénieur en chef des ponts et chaussées d'Espagne.

le dixième degré de latitude, au banc du capitaine Walker, à Saint-Pierre, aux roches de Corail, à Naronha, et touche barre au cap Saint-Roch, sur les côtes du Brésil. — On double ainsi la longueur du chemin, mais on centuple les relations.

L'orographie de l'Océan est-elle assez connue pour permettre de rêver ce câble de l'avenir? Nous le pensons. Les sondages qui ont été faits montrent que la profondeur de la mer, sur la ligne que nous venons de décrire, ne dépasse pas, en général, 5400 mètres, si ce n'est dans le voisinage des îles qui sont autant *d'échelles*. — En vue de Porto Santo, de Ténériffe, de Brava et de Saint-Pierre, il faudrait évidemment apporter les plus grands soins à la pose du câble. Heureusement on aurait, en cas de besoin, tous les secours sous la main. Au surplus, nulle part la profondeur extrême à laquelle puisse parvenir un câble à armature métallique ne se rencontre. Il n'y aurait donc rien à changer au système actuel.

Du cap Saint-Roch partirait une ligne côtière à destination de Rio de Janeïro, tandis qu'une autre ligne septentrionale gagnerait l'embouchure de l'Amazone, et, de là, vers le nord-ouest, l'île de la Trinité. Le télégraphe desservirait les petites et les grandes Antilles et se mettrait en rapport avec l'Amérique centrale, avec le grand Océan, avec le Mexique, avec les États-Unis. — La Havane deviendrait un centre d'opérations.

Toutes les nations européennes qui ont une marine et des colonies sont intéressées à la réussite de ce projet. Il ferait communiquer le Portugal avec Madère, avec les îles du cap Vert, avec le Brésil ; l'Espagne avec les Canaries, avec Cuba, avec Porto-Rico ; le Danemark avec Saint-Thomas ; l'Angleterre avec ses possessions américaines ; la France, enfin, avec le Sénégal, la Guyane et les Antilles !

Mais quelle somme faudrait-il engloutir dans l'Océan pour réaliser un tel rêve ? 40 millions. — Nous parlions, au commencement de cette étude, du canon des batailles qui tonnait hier encore sur l'Europe... La plus petite guerre aurait bientôt raison d'une pareille misère.

C'est que les hommes, dit la Bruyère, sont des animaux raisonnables, qui, ne pouvant, avec leurs seules mains, que s'arracher les cheveux, s'égratigner le visage ou tout au plus s'enlever les yeux de la tête, savent faire un sacrifice sans hésiter, quand il

s'agit de construire de bons instruments, bien perfectionnés, bien commodes, grâce auxquels ils se font de larges blessures d'où leur sang coule jusqu'à la dernière goutte...

La Bruyère calomnie l'humanité ; elle vaut mieux que cela. Sans doute, elle a des moments de colère et d'égarement ; mais, grâce à Dieu, la meilleure part est faite, dans sa vie, à la sagesse et au génie. — Écartons donc ces ombres sinistres qui, lorsqu'elles prennent un corps, ruinent les États, affament les peuples, décident les nations, brûlent les villes et amoncellent les ruines et les cadavres ; scellons la pierre des tombeaux que voudraient soulever ces fantômes du passé, armés de la torche et du glaive !... Poursuivons l'œuvre de la paix ; préparons à nos enfants une ère de concorde, de travail et de prospérité. Que si un jour l'ambition pénètre dans leur cœur, apprenons-leur, par notre exemple, qu'une seule conquête est légitime et sainte, — celle du monde par la science et la civilisation !

E. Menu de Saint-Mesmin.

II

LES INONDATIONS EN FRANCE

RÉSUMÉ HISTORIQUE. — MOYENS PRÉVENTIFS

Les fleuves, « ces chemins qui marchent, » contribuent essentiellement à la propérité des peuples. C'est sur leurs bords que naissent et grandissent les cités commerçantes et manufacturières; à portée de leurs eaux bienfaisantes se développent de riches cultures. Mais plus ils rendent de services, plus ils peuvent devenir nuisibles quand leur régime ordinaire vient à être modifié par des phénomènes météorologiques. « Tout est dangereux ici-bas, et tout est nécessaire, » a dit l'auteur de *Candide*. Le danger, ici, s'accroît en proportion de l'utilité. Les fleuves qui s'épanchent librement parmi les solitudes peuvent impunément se réduire aux proportions d'un filet d'eau imperceptible, s'étaler en flaques

marécageuses ou bondir en cascades ; le sol, qui ne leur doit rien, n'a rien à en craindre. Il n'en est plus de même de ceux de la vieille Europe, et, en particulier, de nos fleuves français.

Un nouvel et terrible exemple vient de montrer encore avec quelle rapidité ces bienfaisants auxiliaires se métamorphosent, sous l'influence des grandes crues, en fléaux destructeurs.

Jusqu'ici la science, tout en multipliant les ressources de l'exploitation du cours régulier des eaux, n'a qu'imparfaitement réussi à prévenir et à dominer leurs caprices malfaisants. Dans les circonstances actuelles, nous n'avons malheureusement pas besoin de faire ressortir l'importance de ce grand problème des eaux; il s'impose assez de lui-même à l'attention publique. L'étude que nous lui consacrons sera divisée en deux parties. Dans la première, nous rappellerons sommairement les principaux désastres occasionnés en France par les débordements, et principalement par ceux de la Loire, depuis les premiers siècles de notre histoire jusqu'en 1866. Dans la seconde, nous passerons en revue les moyens préventifs employés ou proposés, soit dans les villes, soit dans les campagnes ; et, conformément à la méthode constamment suivie dans cet *Annuaire*, nous préciserons le dernier état de la question, en indiquant les moyens pratiques, sur lesquels les meilleurs esprits tendent enfin à s'accorder, pour arriver à l'aménagement général du régime des eaux [1].

RÉSUMÉ HISTORIQUE.

Seine. — Placidité relative de ce fleuve. — Débordements des années 588, 886, 1196, etc. — Désastres causés par celui de 1658, le plus considérable de tous. — Aspect de Paris pendant l'inondation de 1740. — Crues de 1802, 1836. — Rhône. — Son allure torrentielle. — Inondations terribles de 1570, de 1856. — Rhin. — Désastres causés par le débordement exceptionnel de 1852. — Travaux d'endiguement et de canalisation. — Garonne. — Loire. — Indications anciennes. — Charte de Henri Plantagenet pour la construction des levées. — Inondations pendant le dix-septième et le dix-huitième siècles ; *déluge de Saumur*, etc. — Vices fondamentaux du système de digues dites insubmersibles. — Inondations de 1846, 1856, 1866.

Seine. — Du temps de la domination romaine, la Seine passait déjà pour moins sujette aux débordements qu'aucun autre fleuve

[1] Ceux de nos lecteurs qui désireraient de plus grands détails sur l'historique de la question, les trouveront dans la vaste et utile compilation de M. Maurice Champion : *des Inondations en France, depuis le sixième*

de la Gaule. Cette placidité relative est attestée par la fameuse lettre où Julien, alors proconsul des Gaules, vante les charmes de sa chère Lutèce, dont son génie semblait pressentir les grandes destinées.

Mais la Seine n'était pas toujours d'humeur si débonnaire, et quand elle se fâchait, ce n'était pas à demi. La plus ancienne de ses inondations, dont le souvenir soit venu jusqu'à nous, est celle que relate, d'après une tradition immémoriale, l'auteur anonyme de la Vie de sainte Geneviève, et qui doit avoir eu lieu dans la seconde moitié du cinquième siècle. En 583, il y eut, suivant Grégoire de Tours, un débordement tout à fait extraordinaire : les eaux de la Seine et de la Marne formaient en amont de la Cité un vaste lac, où beaucoup d'embarcations périrent. Les écrivains du neuvième siècle citent aussi plusieurs grandes inondations; celle de 886, moins nuisible qu'utile, protégea Paris contre l'invasion normande.

En mars 1196, la Seine s'éleva de nouveau à une hauteur inouïe ; on vit le roi Philippe Auguste chassé de son palais par l'invasion des eaux, « suivre la procession avec larmes et soupirs, comme le dernier de ses sujets. » Les autres sinistres de ce genre, mentionnés comme tout à fait exceptionnels, sont ceux de 1206 et 1296, la débacle furieuse de 1407, venue à la suite d'un hiver digne de la Sibérie, où il y eut « de la glace jusqu'au fond des puits; » la crue du mois de juin 1426, si subite et si violente, que, suivant le *Journal d'un bourgeois de Paris*, elle vint « éteindre le feu de la Saint-Jean sur la place de Grève, tandis que les gens dansaient autour. »

Il y eut aussi, au seizième siècle, de fort grands débordements, notamment celui de 1566, que le peuple de Paris ne manqua pas d'attribuer à l'impiété des « parpaillots. » Toutes ces crues furent dépassées par celle de 1658, la plus haute qui ait été anciennement observée sur le cours entier du fleuve. Le 1er mars, à minuit, le pont Marie s'effondra en partie avec plusieurs de ses maisons, dont les habitants périrent. L'eau submergea, dans toute la vallée de la Seine, des terrains où elle n'avait pas reparu depuis des siècles. Ce désastre avait tellement terrifié nos ancêtres, qu'on se

siècle jusqu'à nos jours, 6 vol. in-8°, Dunod. Pour la partie théorique et pratique, on consultera avec fruit les Études de MM. Vallès, Monestier-Savignat, et le beau travail de M. Coumes sur le « Service du Rhin. »

préoccupa sérieusement, pendant quelques années, du projet d'un canal de décharge de la Seine, par Chaillot ou Saint-Ouen. Ce projet fut longuement élaboré par Pierre Petit, ingénieur fort habile pour ce temps-là. L'un des passages les plus curieux de son mémoire est celui où il raille agréablement les novateurs téméraires, partisans de l'exhaussement continu des quais, « comme s'il y avait l'ombre de bon sens à supposer qu'on pût voir jamais des portes cochères à la hauteur où se trouvaient des alcôves. »

Il semble qu'après ce prodigieux effort de 1658, la Seine elle-même eût besoin de repos. D'ailleurs, à partir de la majorité de Louis XIV, les travaux d'amélioration des quais et des ponts furent conduits avec plus d'intelligence et d'ensemble. Toutefois, les dernières années du grand règne, si fécondes en calamités de tout genre, virent aussi se renouveler celle-là ; il y eut un furieux débordement de la Seine en 1711. L'inondation la plus considérable, sous le règne de Louis XV, a été celle de 1740. La hauteur de cette crue néfaste marque le point culminant de l'échelle du pont Royal, qui formerait cataracte, si la Seine se relevait jamais à un pareil niveau. On trouve dans le Journal de Barbier des détails pittoresques sur la situation de Paris en 1740. Les Champs-Élysées, les quais, le quartier des Invalides, les abords du Louvre et des Tuileries, tout était sous l'eau. « Du côté de Bercy, c'est une pleine mer. La grève est remplie d'eau, la rivière y tombe par-dessus le parapet : dans les maisons à porte cochère, les bateaux entrent jusqu'à l'escalier, comme les carrosses feraient, etc. » L'eau commença à décroître le 29 décembre; elle quitta les rues avec l'année, et il était temps, car Paris n'avait plus que pour deux jours de farine, « par l'impossibilité d'aborder les moulins à vent, ni de jouir des moulins à eaux. »

L'année 1802 fut signalée par une crue qui compte à juste titre parmi les plus mémorables, tant par sa hauteur, qui ne fut inférieure que de 45 centimètres à celle de 1740, que par les conditions étranges dans lesquelles elle se produisit. Il n'était presque pas tombé de neige, et la quantité de pluie avait été, pendant les six mois précédents, fort au-dessous de la moyenne ordinaire. En très-peu de jours la Seine monta de $1^{m},85$ à $7^{m},45$, et plus de la moitié de la capitale fut submergée.

Depuis cette époque, la crue la plus forte de la Seine a été celle

de 1836. Elle atteignit et dépassa encore le niveau de 7 mètres, et envahit une dernière fois la place de Grève. La crue de 1856, si désastreuse dans les bassins du Rhône et de la Loire, l'a été beaucoup moins dans celui de la Seine. Il en a été de même en 1866, bien que les eaux aient atteint un moment l'altitude inquiétante de $6^{m},20$ à l'échelle du pont Royal. De tous les affluents de ce bassin, un seul, l'Yonne, a occasionné cette année des dommages sérieux.

Rhône. — Rhin. — Garonne. — Enfant sauvage des glaciers, le Rhône n'a pas les longueurs décevantes et perfides des rivières tout à fait françaises. De sa source à son embouchure, il garde une allure franchement torrentielle, et la plupart de ses affluents, notamment l'Isère, la Durance, l'Ardèche, le Gard, descendant comme lui de pentes abruptes, participent de son caractère dévastateur. Ainsi que la Seine, il rencontre sur sa route le barrage d'une grande ville, à laquelle il a livré plus d'un assaut, de concert avec la Saône, sa trop fidèle auxiliaire.

Les grandes inondations de la fin du sixième siècle s'étendirent aussi au bassin du Rhône. Pendant toute la durée du moyen âge, nous ne trouvons dans les contemporains que des indications sommaires des sinistres de ce genre ; ainsi, des notes conservées aux archives d'Avignon constatent que de 1338 à 1362 cette ville eut à souffrir huit débordements du Rhône et de la Durance. A partir de la seconde moitié du seizième siècle, nous rencontrons, dans ce bassin comme dans les autres, des mentions plus fréquentes de semblables calamités, en raison de l'intensité croissante des populations riveraines et de la pression qu'elles osaient exercer à leur tour sur ces eaux véhémentes. En 1548, les eaux du Rhône s'élevèrent à une hauteur qui n'a plus été dépassée qu'en 1856. Une autre inondation, celle de 1570, produisit à Lyon et aux alentours un effet d'autant plus terrible qu'elle se produisit sur les onze heures du soir, sans qu'il y eût eu, suivant les contemporains, aucun précédent indice, comme trop grandes pluies ou neiges fondues aux Alpes. L'un des historiens de Lyon, Paradin, prétend avoir vu passer dans ce moment

[1] Un historien local désigne avec raison cette rivière « comme la plus fâcheuse de France, n'ayant rien d'arrêté que ses changements et ses ravages. »

« une grange entière, pleine de foin et de fourrage, arrachée par les fondements avec les bœufs attachés au râtelier. » Les désastres auraient été plus grands encore sans l'infatigable dévouement de Mandelot, gouverneur de Lyon, qui « fut plus soudain à cheval que l'on n'eût pensé qu'il fût averti, » et piqua avec les gens de sa suite dans les rues basses, inondées à cinq ou six pieds de profondeur, où ils arrachèrent à la mort des centaines de victimes. Des exploits de ce genre valent bien ceux des guerres civiles.

Pendant le dix-huitième siècle, on remarqua dans le bassin du Rhône les débordements de 1711, 1740 et 1755. Ces désastres ont été renouvelés de nos jours en 1840 et dépassés en 1856[1]. Cette fois, par suite de la coïncidence des crues dans l'artère principale, dans tous ses affluents et sous-affluents, la moitié de Lyon, la presque totalité des villes du bas Rhône furent envahies. Ce sinistre, d'une gravité exceptionnelle, a provoqué l'exécution d'importants travaux de défense dont nous dirons quelque chose dans la seconde partie de cette étude. Cette année, la crue du Rhône a été comparativement insignifiante ; un seul, et l'un des moindres de ses affluents, la petite rivière d'Arc, a commis de graves dégâts.

Le Rhin, plus ou moins allemand, et ses affluents tout à fait français (notamment la Moselle et l'Ill, l'ennemi intime de Strasbourg), mériteraient à eux seuls une étude spéciale. Ses grands débordements rivalisent au moins avec ceux de la Loire. Le dernier, celui de 1852, a été aussi le plus formidable qui eût désolé depuis deux siècles cette immense et riche vallée. Le bilan des dommages occasionnés par ce déluge, rien que dans la partie française du littoral, se résumait ainsi : quarante-sept communes envahies, quinze villages submergés en totalité, dix-huit partiellement. Le nombre de brèches ouvertes dans les digues françaises seulement (c'est-à-dire sur une fraction relativement minime du parcours total, et seulement d'un côté), s'élevait à quatre-vingt-deux, qui, mises bout à bout, avaient formé ensemble une longueur

[1] En 1840, le total des pertes, pour quatorze départements, avait été évalué à 72 millions ; il fut bien plus considérable en 1856. En 1840, six cents maisons avaient été renversées à Lyon ; en 1856, l'inondation en emporta le double. Toute la plaine de Tarascon et celle d'Arles furent submergées sur une étendue de 35,000 hectares, et la perte, rien qu'en mûriers, y fut évaluée à 30 millions.

de 4,870 mètres. Dans le bas Rhin, ces brèches, plus larges et plus rapprochées les unes des autres, livrèrent passage à une section considérable du fleuve qui fondit dans la plaine, détruisant les obstacles, coupant les chemins, franchissant même le canal du Rhône au Rhin, pour revenir enfin s'engloutir dans le lit ordinaire, en amont de Strasbourg, par les tranchées que lui ouvrirent des milliers de travailleurs. Dans la lutte engagée contre le fléau, les ouvrages de toute espèce exécutés d'urgence durant trente heures, présentaient un développement équivalant à un septième de la longueur totale des digues. Jamais effort plus violent du fleuve n'avait été plus énergiquement combattu. C'était bien là un de ces cataclysmes qui, jadis, morcelaient et changeaient parfois radicalement le cours du fleuve, détruisaient des villes, altéraient la physionomie de la contrée. Le Rhin alors régnait en maître, en despote cruellement capricieux, sur ces populations ignorantes qui ne savaient qu'implorer l'aide du ciel sans s'aider elles-mêmes[1].

Depuis cette époque, le cours du Rhin a été l'objet d'un travail international très-remarquable. Nous dirons ici quelques mots de cette œuvre tout à fait spéciale, pour n'avoir plus à y revenir.

Il existait en 1852 deux sortes d'ouvrages sur ce fleuve : les anciennes digues, construites dans le système dit insubmersible, dont nous n'avons que trop à parler au sujet de la Loire, et le commencement d'un travail de régularisation et de resserrement, dont la première pensée remontait à l'époque du règne de Napoléon Ier, mais dont une longue mésintelligence entre les ingénieurs français et badois avait paralysé l'exécution pendant bien des années. Ce dissentiment s'était prolongé jusqu'en 1842, les Badois tenant pour la ligne droite inflexible, les Français pour la ligne courbe. Il en était résulté un défaut d'ensemble fâcheux dans les travaux exécutés simultanément sur les deux rives; on se nuisait au lieu de s'entr'aider. Un projet concerté avec l'administration badoise pour la régularisation du cours du Rhin, de manière à encaisser le volume entier des eaux, avait terminé enfin cette

[1] Depuis 1641, époque où les inondations du Rhin commencèrent à être observées régulièrement, les inondations générales les plus violentes ont été celles de 1740, 1758, 1784, 1802 et 1824. Celle de 1852 a été la plus forte, mais non la plus désastreuse, grâce à la promptitude et à l'énergie des secours.

guerre d'ingénieurs. Mais, en 1852, cette régularisation était encore trop peu avancée pour que l'on pût subordonner les travaux de défense à son achèvement. On se décida donc à utiliser provisoirement les anciennes levées. On les restaura de fond en comble et à grands frais dans le même système, en augmentant la largeur des sommets et en les exhaussant à $0^m,80$ au-dessus du niveau maximum de 1852. La reprise du travail d'encaissement a marché de front avec cette restauration et touche aujourd'hui à sa fin.

En résumé, et pour nous servir des propres expressions de l'habile ingénieur qui a dirigé ces travaux : « Le Rhin, après avoir divagué pendant une série de siècles dans un lit d'une largeur énorme sur le littoral de l'Alsace, après avoir dévasté les communes riveraines par ses corrosions et ses débordements, sera désormais maîtrisé au moyen d'un double système d'endiguements. Le premier, par la régularisation du lit des eaux coulant à plein bord et par la défense de ses rives, améliore une grande ligne commerciale ; il fixe d'une manière immuable la frontière d'un grand empire, et le sol des propriétés riveraines, agrandi de tout l'espace conquis sur l'ancien lit ; il assainit la contrée en faisant disparaître les eaux stagnantes dans une multitude de bras, et en abaissant le niveau des eaux dans toutes les phases du régime. Le second système met la plaine à l'abri des inondations par la constitution d'un lit majeur réservé à l'écoulement des crues entre des levées *insubmersibles, qui, plus tard, seront reportées en avant et parallèlement au lit régulier.* » Nous croyons qu'il sera prudent d'ajourner encore longtemps, sinon toujours, ce rapprochement des digues et de s'en tenir au lit majeur, comme offrant une meilleure garantie contre quelque retour offensif du Rhin. Ses emportements sont à ceux des autres fleuves ce que sont les éruptions de l'Etna par rapport à celles d'autres ; volcans plus rares, mais d'autant plus terribles.

Le bassin de la Garonne nous fournit comparativement aux autres bassins français peu de désordres d'une importance majeure ; heureux les fleuves qui n'ont pas d'histoire ! Parmi les inondations du siècle dernier, la plus mémorable fut celle de 1770, à laquelle la tradition populaire a conservé le nom de « Aygat de Rameoïs, » inondation des Rameaux, parce que l'eau atteignit ce jour-là sa plus grande hauteur. Le fléau fit naturellement d'autant plus de

ravages qu'il avait été plus rare jusque-là. Beaucoup de maisons de la vallée furent submergées jusqu'au faîte, et la crue, à Bordeaux, dépassa de 30 pieds le niveau des basses eaux. Depuis cette époque, la Garonne a débordé plusieurs fois, notamment en 1856, où elle submergea une étendue de terrain évaluée à 4,600 hectares, entre Toulouse et Bordeaux.

La fixation du lit de ce fleuve a été depuis 1835 l'objet d'un travail considérable, consistant en digues longitudinales, et continues, mais non insubmersibles. Ces digues sont reliées à l'ancienne rive par des épis qui ont pour effet d'amortir l'effort des hautes eaux, tout en leur laissant une latitude prudente, et de favoriser ainsi la formation et le développement des alluvions en arrière du nouveau lit. Ce système, qui n'est pas sans analogie avec le « lit majeur » du nouveau Rhin, a pour but d'amener le fleuve à se fabriquer lui-même, par colmatage, de nouvelles rives qui peu à peu deviendront infranchissables.

Loire. — Dès le temps de l'invasion romaine, la Loire jouissait d'une détestable réputation. La fréquence et la nature particulièrement dévastatrice de ses débordements s'expliquent par le défaut d'encaissement de ses rives et la faible pente des terrains pendant une grande partie de son cours. Déjà, dans ses *Commentaires*, César se plaignait d'une inondation de ce fleuve, qui avait mis obstacle à un mouvement stratégique important. Grégoire de Tours nous apprend que dans un intervalle de onze ans (580-591), il y eut *huit* débordements calamiteux dans la vallée de la Loire.

Les écrivains du neuvième siècle mentionnent différents sinistres, dont plusieurs coïncident avec ceux de la Seine. Il faut que celui de 809 ait été bien grave, car la première idée d'une digue ou *levée* continue remonte à cette époque. Un capitulaire de 819 en prescrivait la confection sous la surveillance d'un délégué expert dans ce genre de travaux (*bonus missus*). L'invasion normande apporta une perturbation profonde dans ces premiers travaux. Pendant plus de trois cents ans, la vallée de la Loire demeura à la merci des caprices indomptés du fleuve, qui, suivant l'expression de Glaber, chroniqueur du onzième siècle, surprenait les laboureurs dans les champs et les cavaliers sur les chemins.

Pendant cette période d'abandon, le cours de la Loire et de ses principaux affluents subit, comme celui du Rhin, des modifica-

tions considérables. Dans toute la vallée, et jusque dans des terrains élevés de 12 ou 15 mètres au-dessus des parties basses, les explorations géologiques ont révélé des alluvions identiques aux dépôts charriés par les inondations modernes. Ce témoignage de la science est pleinement confirmé par d'anciennes chartes, qui mentionnent comme riverains des lieux fort éloignés des bords actuels de la Loire.

C'est à l'inondation de 1150, qui paraît avoir été la plus considérable de tout le moyen âge, que Bodin rapporte, d'après d'anciennes traditions, cette révolution hydrographique. Ce qui confirme son opinion, c'est que la charte célèbre donnée à Saint-Florent par Henri Plantagenet, comte d'Anjou et roi d'Angleterre, pour le perfectionnement de la levée, est à peu près de cette époque, et semble rédigée sous l'impression récente d'un grand désastre.

Cette charte (1161), l'un des monuments historiques les plus curieux du douzième siècle, contient des dispositions singulièrement libérales pour ce temps-là. Pour attirer vers ces levées ou *turcies* (torciæ) le plus grand nombre possible de gardiens, Henri leur conférait de grands priviléges. Les serfs qui venaient s'y établir gagnaient leur complet affranchissement. Ce système de défense ne fut pas une œuvre entièrement nouvelle; on utilisa les travaux anciens par des raccordements dont la trace est encore visible aujourd'hui. Suivant Bodin, ces premiers endiguements étaient généralement établis de manière à faire au besoin la part du fléau; on avait ménagé de distance en distance, entre les héritages, des retraites pour l'étalage et l'amortissement des hautes eaux. Ainsi l'expérience pratique de quelques agriculteurs avait deviné le système des digues transversales, auquel la science semble vouloir revenir de nos jours.

Les promesses d'émancipation de la charte de Saint-Florent firent leur effet. D'après le témoignage d'un contemporain, la partie du comté d'Anjou qui confine à la Loire offrait, dès 1168, un parcours continu de 11 lieues de digues. Ces utiles travaux furent abandonnés pendant les guerres malheureuses des Valois; le fléau des inondations reparut et sévit, avec une intensité terrible, durant tout le quinzième siècle.

Les désastres de l'inondation de 1491 éveillèrent pourtant la sollicitude de Louis XI, qui affectionnait, comme on sait, la

vallée de la Loire. Il renouvela les exemptions d'impôts de toute nature en faveur des pauvres manants ayant perdu « leurs bestes, foings, mesnages et autres biens qu'ils avoient, » à la condition de réparer et entretenir les digues, et d'obliger à cet entretien « leurs hoirs et successeurs. » Ces travaux furent encore délaissés pendant les guerres de religion, et la Loire figura de nouveau parmi les grandes calamités du royaume. La plus considérable des inondations du seizième siècle fut celle de 1546, où il y eut, suivant un opuscule du temps, 800 maisons submergées, 600 personnes et 6000 bestiaux noyés, de Roanne à Tours. Le sinistre de 1615 fut plus grave encore. Il en existe deux relations contemporaines ; l'une est un récit général, l'autre, encore plus curieuse, est intitulée *le Déluge de Saumur*. L'auteur, nommé Bourneau, ne se borne pas à raconter le désastre, il recherche les moyens d'éviter ou d'atténuer les dangers futurs. Sans autre guide que le simple bon sens, il signale les graves inconvénients de l'endiguement continu, et propose « d'alléger cette rivière en y faisant telles ouvertures, qu'elle y puisse vuider une partie de ses eaux. » L'application de cette méthode lui semblait urgente, surtout à Saumur, « plus attaquée qu'aucune autre ville, car d'un côté les eaux du Thoüet lui donnent l'assaut, plus, il y a celles de l'Authion, et voilà les grandes eaux de Loire qui l'environnent, et lui amènent tous les ans une ravageante armée de barbares et corsaires. » Trois ans après, cette ville fut de nouveau inondée ; les eaux pénétrèrent jusque dans le cabinet de l'auteur du *Déluge*, et faillirent emporter son manuscrit, « irritées qu'elles étaient de ce que ces feuilles avaient osé attenter à sa grandeur insupportable. » La catastrophe de 1615 avait occasionné dans les levées des dégâts qui ne purent être réparés à temps, et, ce mauvais état des travaux de défense ayant coïncidé avec une longue série de temps pluvieux, la Loire déborda dix années de suite (1623-1633). Richelieu, à son retour de la Rochelle, faillit périr dans un de ces débordements. Cette longue série de catastrophes dans le dix-septième siècle prouve qu'il n'y a guère lieu de tenir compte de l'assertion de Saint-Simon, qui prétend que les débordements de la Loire étaient devenus plus fréquents et plus calamiteux depuis qu'on avait fait sauter dans la haute Loire, au commencement du siècle suivant, des rochers qui obstruaient la navigation.

Les exemptions de tailles ayant cessé pour les riverains en 1645, l'entretien des ouvrages fut encore négligé; il en résulta de nouvelles submersions qui nécessitèrent le rétablissement des immunités, et l'établissement d'une contribution extraordinaire sur tous les grands propriétaires nobles, et même ecclésiastiques. Bientôt parut Colbert, et le bassin de la Loire, comme tout le reste de la France, se ressentit de sa vigilante administration [1]. Il osa le premier réaliser l'idée si simple de confier à des hommes de l'art la direction supérieure des travaux, et surveilla de très-près l'emploi des fonds. Mais après lui, soit qu'il y eût un vice fondamental dans le système, soit que l'argent destiné aux levées recommençât à s'égarer en route, on vit les sinistres reparaître et se succéder rapidement. Dans les huit dernières années de Louis XIV, il y eut six débordements. Ces accidents réitérés provoquèrent d'importants travaux, mais conçus, pour la plupart, dans un mauvais système. Ce n'était pas qu'on manquât d'ingénieurs habiles, mais que peuvent les meilleurs auxiliaires, quand la décision suprême est remise à des hommes entêtés et incapables? On avait bien reconnu que le lit de la Loire se trouvait trop resserré par les travaux de défense lors des grandes crues; mais, « après bien des réflexions, sur lesquelles les ingénieurs seuls ne furent pas écoutés, » on se décida à persévérer dans ce resserrement; on l'exagéra même, en portant de 15 à 21 pieds l'exhaussement des levées. On s'obstina à appliquer, sur un parcours rural de 70 lieues, l'endiguement longitudinal. Des déchargeoirs de superficie furent néanmoins pratiqués de distance en distance, mais si peu larges et solides, qu'ils cédaient au premier choc. Ces améliorations furent rudement battues en brèche par la crue exceptionnelle de 1733. Cette fois l'eau passa par-dessus les ponts d'Orléans et de Tours, et les habitants de cette dernière ville, cernés par l'inondation, demeurèrent trois jours sans vivres. Ce fut encore sur Tours et ses en-

[1] On peut citer, comme spécimen de ses sages dispositions, l'édit du 4 juin 1668, qui prescrivit la destruction des îlots formés par les atterrissements de la Loire, et l'arrachement des bois dans les grandes îles, à cause des dangers qui résultaient dans les grandes crues de ces bois et îlots, qui rejetaient violemment les eaux sur les levées. Ces mesures furent reproduites dans le règlement général de 1783. L'édit de 1668, inspiré par Vauban, contenait aussi des prescriptions essentielles concernant le draguage des rivières.

virons que porta principalement l'inondation de 1755, l'une des plus terribles du dernier siècle. En 1789, à l'époque de la débacle, le val d'Orléans fut submergé jusqu'à la hauteur des toits, et il fallut quinze années de travaux pour rendre à la culture les terrains ensablés. Par suite des troubles de l'intérieur et du manque de fonds, les travaux de défense restèrent dans un état complet d'abandon pendant les dernières années du dix-huitième siècle ; et ce fut seulement au commencement de l'empire que l'idée salutaire des bassins de retenue en amont fut proposée sans attirer autant l'attention qu'elle méritait. On s'obstinait encore à dompter la Loire directement, par la consolidation et l'exhaussement graduels de la levée, de manière à dominer les plus hautes crues possibles. En même temps qu'on poursuivait cette insubmersibilité fantastique, le désir de faciliter la navigation dans les basses eaux, de protéger des empiétements agricoles trop hasardeux, entraînait à maintenir le resserrement, à l'augmenter même sur différents points. C'est ainsi que le cours de la Loire fut réduit, à Orléans, d'une largeur primitive de 3,500 mètres à 280 ; à Jargeau, de 7,000 mètres à 250 ! Il était impossible de faire plus beau jeu à l'ennemi. Encaisser ainsi despotiquement dans des quais, sur une longueur de 294 kilomètres, un fleuve dont le régime est aussi éminemment torrentiel, était une œuvre grandiose, mais plus que téméraire. Si solide que soit ce rempart, son revers demeure sans appui. L'intérieur, emprunté aux terres adjacentes, c'est-à-dire à des portions du lit primitif, se compose d'un sable friable, auquel le contact de l'eau rend bien vite sa fluidité première, soit qu'en temps de débacle le fleuve furieux enfonce dans le mur de sa prison des coins de glace jusqu'à 2 mètres de profondeur ; soit qu'il s'y glisse subrepticement, par les moindres fissures, bientôt agrandies ou déchirées ; soit enfin qu'escaladant cette barrière, il s'y ouvre des brèches par érosion, en se déversant sous forme de cataracte. De plus, suivant un des principes fondamentaux de la dynamique, trop longtemps oublié, l'épaisseur de semblables digues, et par conséquent leur résistance, diminue avec la hauteur, tandis qu'au contraire la force de destruction augmente à mesure que les niveaux s'élèvent. Enfin, le rétrécissement continu produit inévitablement, dans le lit du fleuve (et en plus forte proportion quand il s'agit, comme ici, d'un cours d'eau à pente presque insensible) une plus forte accu-

mulation de dépôts limoneux et sablonneux ; par conséquent, une somme croissante d'exhaussement, et, dans les grandes crues, une augmentatation notable de rapidité qui accroît leur véhémence.

Ainsi s'explique l'intensité croissante qui a signalé les débordements de la Loire dans la première moitié de notre siècle, et surtout les trois dernières, que nous venons de voir se succéder périodiquement à dix années d'intervalle. Les dégâts opérés en 1846 ne furent pas un enseignement suffisant. « On parla beaucoup aux chambres, on fit des rapports très-lumineux, mais aucune impulsion définie ne fut donnée, et l'on se borna à ne faire que des travaux partiels, qui n'ont servi qu'à rendre les effets du nouveau fléau plus terribles [1]. » On se flattait encore d'amener les digues à un état de consolidation et d'exhaussement suffisants pour contenir les plus hautes crues. Le cataclysme de 1856 fit cruellement justice de cette illusion obstinée. Dans ces digues, soi-disant insubmersibles, la Loire se fraya passage par soixante-treize brèches, sans compter les points où les eaux dépassèrent la crête du rempart. Dans le seul département du Loiret, les brèches, mises bout à bout, représentaient une longueur de 7,923 mètres. Sur tout le parcours du fleuve, malgré l'énergie des administrateurs, des ingénieurs et de la population, malgré le secours nouveau de la télégraphie électrique qui du moins enlève au fléau la cruel avantage de l'imprévu, les dégâts dépassèrent les prévisions les plus sinistres. A Orléans, la Loire ne se borna pas cette fois à noyer les environs et les bas quartiers : par un effort inouï, elle étendit ses ravages jusque dans la partie haute de la ville, où le reflux violent des eaux souterraines produisit des effets analogues à ceux d'un tremblement de terre. Les malheurs furent plus grands encore à Jargeau, à Amboise, où la Loire vint, pour la seconde fois, saccager le chemin de fer avec une rage jalouse, et transformer la voie en un torrent profond de 5 mètres. A Tours sa victoire, disputée avec une obstination héroïque, n'en fut que plus désastreuse. Il en fut de même à Angers et dans les environs ; les eaux, se déversant en cataractes gigantesques dans les ardoisières de Trélazé, offraient un tableau que n'oublieront jamais ceux qui ont pu en contempler l'horreur

[1] Lettre de S. M. Napoléon III, du 19 juillet 1856.

sublime. A la Chapelle-Blanche, la violence sacrilége du fléau ne respecta pas même le repos des morts !

Cet échec décisif de l'endiguement longitudinal fit surgir l'idée d'une réforme fondamentale, qui, malheureusement, a rencontré dans la pratique des empêchements sur lesquels nous reviendrons ; si bien que, tandis que les travaux spéciaux des villes étaient poussés avec ensemble et vigueur, la solution de la partie rurale du problème des eaux subissait de regrettables atermoiements. La Loire n'a pas eu la patience d'attendre, et cette année a été signalée par des désastres presque aussi grands que ceux de 1856, au moins dans les campagnes. D'après le rapport du ministre des travaux publics, du 22 octobre 1866, la crue de la Loire supérieure, « la plus haute qui s'y soit produite jusqu'à ce jour, » a été déterminée par les pluies diluviennes, tombées le 23 et le 24 septembre sur le massif montagneux du centre de la France. Les villes de Roanne, de Sully, de Gien, de Jargeau, ont été inondées, nombre de levées *insubmersibles*, effondrées comme en 1856, et souvent aux mêmes endroits. En aval, la violence du fléau s'est amortie par degrés ; mais le dommage n'en est pas moins immense dans une grande partie du bassin. Vingt départements ont notablement souffert ; le rapport du ministre évalue approximativement à 12 millions les réparations à faire aux ouvrages d'utilité publique, routes, canaux et levées. Le service du chemin de fer est resté trois semaines suspendu ; la perte de la compagnie est estimée à 2,500,000 francs. En 1856, cette perte avait été de 4 millions. Dans les communes rurales, la moyenne des dévastations a été, dit-on, plus considérable que dans l'inondation précédente, par suite de la détérioration organique du sol. En 1856, on avait pu ramener à la surface la terre végétale enfouie sous les sables. Cette fois, il paraît que dans beaucoup d'endroits cette couche productive a été entraînée, et il n'est plus possible de recommencer l'opération, le sol ne se composant plus, à une profondeur considérable, que de deux alluvions de sables superposées.

MOYENS PRÉVENTIFS

Travaux urbains. — Ouvrages de défense exécutés à Paris, Lyon, etc. — Travaux dans les campagnes. — Bases du programme arrêté en 1856; imbibition, bassins de retenue, digues perpendiculaires. — Utilité des reboisements. — Rapport sur les inondations du 22 octobre dernier. — Système proposé par M. Comoy et observations à ce sujet. — Difficultés spéciales de la solution, relativement à la Loire; ajournements regrettables. — Conclusion. — Idée d'un aménagement général des eaux, combinant les travaux d'utilisation et ceux de défense.

Travaux urbains. — Ce n'est pas pour satisfaire une stérile curiosité que nous rappelons ces désastres, auxquels il faudrait joindre encore ceux des cours d'eaux secondaires, dont quelques-uns, notamment l'Adour et l'Hérault, ont un régime plus torrentiel, et relativement pire qu'aucun de nos grands fleuves. Une solidarité chaque jour plus intime relie désormais les différentes parties de notre territoire. Autrefois, les malheurs d'une province entière n'affectaient les autres que médiocrement; aujourd'hui, aucune calamité ne saurait impunément désoler la plus humble bourgade française, et les inondés de la Loire trouvent, sur tous les points de notre territoire, une sympathie profonde et d'abondants secours. Mais pour ce fléau, comme pour tous les autres, la charité préventive est la meilleure. La nécessité d'obvier au retour de semblables malheurs, en utilisant, par une judicieuse répartition, la force aveugle qui les produit, est un objet bien digne de la sollicitude du gouvernement et de tous les hommes éclairés.

Le phénomène des crues est corrélatif à celui de l'irrégularité des pluies. La quantité annuelle d'eaux pluviales en France représente en moyenne, d'après les calculs réputés les plus exacts, une couche de 70 à 75 centimètres d'épaisseur, rapportée à la surface entière du pays. Les crues extraordinaires ont généralement pour principe la coïncidence des fontes de neiges et de glaces avec de nouveaux déversements d'eau pluviale, parfois aussi avec des accidents souterrains, enfin avec le stimulant énergique des tempêtes. Ces divers accidents, se produisant ensemble avec une grande intensité, ont pour résultat l'afflux simultané des eaux dans plusieurs rivières d'un même bassin, et finalement leur accumulation dans le lit inférieur du fleuve central, émissaire unique de ces eaux [1].

[1] Quelquefois, néanmoins, une seule de ces causes suffit pour provoquer un débordement Ainsi l'inondation étrange de 1802, dont nous avons parlé

Dans les luttes tantôt individuelles, tantôt collectives, soutenues depuis bien des siècles contre ce fléau, l'homme a été trop souvent vaincu. De toutes ces défaites, celle de 1856, où quarante et un de nos départements furent abîmés, a été l'une des plus désastreuses, et d'autant plus humiliante pour la science, que les localités les plus dévastées furent précisément celles dont la défense avait été l'objet des travaux les plus suivis et les plus dispendieux. Ce grave échec de l'endiguement longitudinal avait provoqué un retour à des idées plus rationnelles, fréquemment émises à des époques antérieures, mais qui n'avaient pas rencontré jusque-là la faveur qu'elles méritaient. Le point de départ du nouveau système se trouve dans un document mémorable, émanant du chef de l'État, et qui servit de base au programme d'études imposé aux ingénieurs par l'autorité administrative[1]. Nous reviendrons tout à l'heure sur ce programme, et sur les circonstances regrettables qui en ont retardé l'exécution, mais auparavant il convient de dire quelque chose des ouvrages de défense spécialement affectés aux villes. Ceux-là ont été conduits depuis dix ans avec l'ensemble et la célérité convenables, et ont rendu de véritables services dans la dernière inondation.

Les travaux de Paris ont généralement servi de type pour la solution de la partie urbaine de ce redoutable problème des eaux. Pendant plus de deux siècles, on n'avait pu s'accorder sur les moyens les plus efficaces de défendre cette capitale contre l'inondation. Les uns pensaient qu'il suffirait de l'endiguement continu des quais, et de l'exhaussement graduel des rives de la Seine. D'autres voyaient dans ces mesures un nouveau péril, celui de resserrer le cours du fleuve, d'augmenter sa hauteur et de précipiter sa marche dans les grandes crues, et proposaient des travaux de dérivation en amont de Paris. L'expérience semble donner raison à un système mixte ; elle a démontré que l'endiguement longitudinal, généralement plus nuisible qu'utile en rase campagne, était le seul possible dans le parcours des grandes villes. L'inconvénient très-réel du resserrement de la Seine se trouve fort atténué par divers

ci-dessus, n'a pu être provoquée que par l'épanchement brusque de quelque nappe d'eau souterraine ; celle de 1866 a été la conséquence d'une trombe d'eau qui s'est abattue, le 23 et le 24 septembre, sur le massif des montagnes centrales de la France.

[1] Lettre de l'Empereur, du 19 juillet, et Circulaire du 26 juillet 1856.

palliatifs. Déjà le premier empire avait fait disparaître les maisons des ponts, trop célèbres par leurs catastrophes. Si l'accroissement de la population a forcé de multiplier les ponts, les améliorations de toute nature apportées à leur construction compensent jusqu'à un certain point le surcroît d'embarras qu'ils peuvent occasionner dans les moments critiques. On ne peut aussi qu'applaudir à l'établissement des égouts collecteurs, au déversement de la Bièvre, en aval de Paris. Suivant l'opinion d'hommes compétents et impartiaux, cet ensemble de travaux produit une soustraction assez forte pour compenser, dans les hautes crues, l'élévation factice produite par l'étranglement des quais. Enfin, par suite des perfectionnements récemment introduits dans les travaux de forage, peut-être ne serait-il pas impossible d'ouvrir dans la Marne un souterrain de dérivation qui permettrait de déverser, au besoin, en aval de Paris, une section de ce redoutable auxiliaire des crues de la Seine.

Après l'inondation de 1856, une loi spéciale pourvut à la défense des centres de population les plus exposés dans nos quatre bassins principaux. Le nombre de ces villes, fixé d'abord à trente-cinq, a été porté définitivement à cinquante. Ces travaux ont entraîné une dépense d'environ 32 millions, à laquelle l'État a contribué dans des proportions plus ou moins fortes, suivant les ressources des localités. Pour la seule ville de Lyon, cette part contributive, fixée à moitié de la dépense, a dépassé six millions. L'ensemble des travaux de fortification et d'exhaussement dans la seconde ville de l'empire est conçu dans un système d'endiguement continu et massif, analogue à celui de Paris. Ceux des villes du bassin de la Loire ont fait généralement assez bonne contenance dans l'épreuve terrible qu'ils viennent de subir. Nevers, Blois, Saumur, Angers, Tours, ont échappé cette fois à l'invasion des eaux ; les ardoisières de Trélazé ont été défendues avec succès par la digue Napoléon. Toutefois le rapport du ministre constate que l'assaut a été rude ; « des fissures, des affaissements se sont produits sur plusieurs points de ces nouveaux ouvrages, et ont excité de justes inquiétudes. » A Tours principalement, l'anxiété a été terrible pendant une journée entière. Sans contester le mérite de ces ouvrages isolés, on peut dire que, n'exerçant aucune action sur le régime général des eaux, ils n'offrent encore qu'une utilité restreinte et toute locale. L'entière sécurité des villes ne sera plei-

nement garantie que par la solution trop longtemps différée de la partie rurale du problème, la plus essentielle de l'aveu de tout le monde.

Travaux dans les campagnes — Les véritables principes de cette solution ont été nettement déterminés il y a dix ans par le chef de l'État. « Avant de chercher le remède à un mal, il faut en bien étudier la cause. Or, d'où viennent les crues subites de nos grands fleuves ? Elles viennent de l'eau tombée dans les plaines. Cela est si vrai que, pour la Loire, la crue se fait sentir à Roanne et à Nevers vingt ou trente heures avant d'arriver à Orléans ou à Blois. Il en est de même pour la Saône, le Rhône et la Garonne. Ce phénomène est facile à comprendre : quand la pluie tombe dans une plaine, la terre sert pour ainsi dire d'éponge ; l'eau, avant d'arriver au fleuve, doit traverser une vaste étendue de terrains perméables, et leur faible pente retarde son écoulement. Mais lorsque, indépendamment de la fonte des neiges, le même fait se représente dans les montagnes, où le terrain, la plupart du temps composé de rochers nus ou de graviers, ne retient pas l'eau ; alors la rapidité des pentes porte toutes les eaux tombées aux rivières, dont le niveau s'élève subitement. Tout consiste donc à retarder l'écoulement des eaux. » (Lettre du 19 juillet 1856.) « Les inondations, disait à son tour le ministre, imposent à l'administration des travaux publics des devoirs impérieux... Rétablir les lieux dans leur état primitif, ce serait laisser le pays exposé à de nouvelles catastrophes. Il faut aujourd'hui que la défense du territoire contre l'invasion des eaux, question toujours éludée et qui n'a jamais provoqué que des mesures partielles et incomplètes, soit abordée et résolue d'une manière générale. » (Circulaire du 21 juillet 1856.) Deux ans plus tard, M. Louvet, rapporteur du projet de loi sur les travaux des villes, regrettait qu'on n'abordât encore nettement que la face secondaire du grand problème des eaux. Enfin, dans un travail publié au commencement de 1863 par la *Revue contemporaine*[1], nous remarquions avec inquiétude qu'on n'était pas encore sorti de la période de tâtonnements, de discussions, de replâtrages provisoires, en ce qui concernait les inondations rurales, tandis qu'on travaillait active-

[1] Livraison du 31 janvier.

ment à la défense des villes. Ce désaccord flagrant nous inspirait des craintes que l'événement n'a que trop bien justifiées.

Dans la situation actuelle, toute récrimination serait hors de propos. Il nous paraît inutile de discuter, par exemple, cette assertion peut-être un peu optimiste que nous rencontrons dans le rapport du 22 octobre dernier, que « les crédits alloués après les désastres de 1856, ont reçu la destination la plus utile qui pût leur être donnée. » Tout le monde est aujourd'hui d'accord sur ce point, qu'il est temps, plus que temps, de résoudre dans toute sa généralité le problème de la défense des vallées, posé en ces termes il y a dix ans : « Retarder l'écoulement des eaux, en les retenant dans les parties supérieures des bassins, éviter la coïncidence des crues des divers affluents avec celle de la rivière principale, et prévenir ainsi la rapide accumulation des eaux dans le fond des vallées. » Les éléments de la solution définitive sont nettement indiqués dans le document mémorable auquel nous empruntons ces lignes, et qui avait servi de base au programme d'études proposé aux ingénieurs par l'autorité administrative.

D'après ce programme, l'amendement général du régime des eaux devait être recherché par la combinaison des trois opérations bien distinctes : 1° l'imbibition des eaux pluviales dans les régions supérieures; 2° leur emmagasinement dans les vallées hautes, à l'aide de bassins de retenue ou lacs factices ; 3° dans les vallées basses, la substitution ou l'adjonction aux digues longitudinales, de digues perpendiculaires formant des réservoirs où les hautes eaux s'étaleraient en flaques minces et inoffensives.

Malgré des objections récentes, le reboisement des hauteurs escarpées nous semble devoir garder son rang parmi les moyens les plus énergiques d'imbibition. Il conserve des partisans nombreux et convaincus parmi les hommes les plus compétents, et il a de plus pour lui les témoignages unanimes du passé, basés sur l'expérience. Pour n'en citer qu'un exemple, les membres du parlement du Dauphiné, qui, au dix-septième siècle, sévissaient contre le déboisement, en avaient reconnu de leurs propres yeux les pernicieux effets. Ils avaient vu encore debout, sur les versants les plus escarpés, ces sapins, « gazon des hautes montagnes, » barrages naturels qui, sur les pentes les plus abruptes, retenaient les terres, amortissaient le déversement des eaux par des coudoiements multipliés. Cette importante question a été traitée ici même

ex professo, et nous ne pourrions que répéter ce qui a été dit et bien dit l'année dernière par M. Gomont[1].

Aucune objection ne prévaudra contre un grand fait hydrologique qui n'est nié de personne, et que nous avons signalé au début de ce travail, la placidité relative du cours de la Seine, celui de tous nos fleuves qui traverse encore le plus de terrains boisés. Mais, indépendamment des reboisements et des gazonnements dans les terrains élevés, opérations coûteuses et de longue haleine, l'imbibition peut y être favorisée par une multitude de moyens peu dispendieux. L'agriculture ne peut-elle pas combiner ses travaux avec ceux de la petite voirie pour multiplier les fossés, les rigoles? Un bon régime d'imbibition aurait d'abord pour effet immédiat de diminuer les crues subites, mais il augmenterait aussi l'approvisionnement du sous-sol, alimenterait plus régulièrement les sources, favoriserait le drainage, finirait par améliorer sensiblement la constitution hydrographique du pays.

La deuxième opération, l'établissement de vastes réservoirs ou bassins de retenue dans les vallées hautes, n'est point une idée nouvelle en France. La digue de Piney, sur la haute Loire[2], est un ouvrage de ce genre qui remonte à l'an 1711. Elle retient le fleuve, à l'époque des grandes crues, dans un vallon qu'il doit remplir jusqu'à une hauteur de 20 mètres au-dessous de l'étiage avant de pouvoir s'échapper par un pertuis large également de 20 mètres. Ce barrage avait résisté en 1856 ; il a été forcé cette année, tant la crue a été véhémente sur le cours d'eau principal ! On peut citer encore l'étang artificiel des Settons, établi il y a quelques années aux frais du syndicat des marchands de bois de Paris. On a organisé, dans une vallée du Morvan, la retenue et l'emmagasinement de la Cure, l'un des affluents les plus capri-

[1] V. *Annuaire scientifique*, 5e année, p. 390. On nous communique en ce moment même un document d'une véritable importance, éminemment favorable au système de reboisement. Dans le département de la Lozère, l'un des plus maltraités par le dernier désastre, les terrains boisés n'ont éprouvé aucune avarie, même dans les pentes les plus rapides, tandis que dans ceux, trop nombreux malheureusement, qui avaient été défrichés et cultivés en céréales depuis quelques années, les terres arables ont été emportées et les roches mises à nu par les pluies diluviennes du mois de septembre dernier. (Discours de M. le préfet de la Lozère, prononcé dans la séance publique de la Société d'agriculture du département, le 3 novembre 1866.)

[2] A 12 kilomètres en amont de Roanne.

cieux de la rivière d'Yonne. Ce travail, qui permet de soustraire ou de déverser les eaux suivant les besoins de la navigation, a l'avantage de régulariser le service du flottage des bois, de maintenir les eaux à un niveau tout à la fois utile et inoffensif.

Pour le moment, les bassins de retenue sont en faveur. On conseille leur emploi sur une vaste échelle, comme un remède héroïque qui dispenserait presque de tous les autres. Voici, en effet, d'après le rapport du ministre, le résumé des dernières études faites sur le bassin de la Loire. Le parcours total de ce fleuve (900 kilomètres) se décompose en deux sections bien distinctes. A moitié de sa course, il reçoit l'Allier, rivière presque aussi importante que lui-même. Entre le Bec d'Allier et Tours, sur une longueur d'un peu plus de 300 kilomètres, la Loire ne reçoit que des affluents peu considérables, mais, à partir de cette dernière ville, on rencontre successivement, sur une longueur de 90 kilomètres, les embouchures du Cher, de l'Indre, de la Vienne et de la Maine. Il en résulte que le danger des crues combinées de la Loire et de ses affluents se décompose, pour ainsi dire, en deux sections comme le fleuve lui-même. On estime que le lit de la Loire, tel qu'il est actuellement limité par les levées, peut contenir un débit maximum de 6,000 à 6,500 mètres cubes pour ce second. Or, ce débit s'est élevé en 1856 à plus de 9,000 mètres au confluent de la Loire et de l'Allier. Il était donc naturel que les digues en aval de ce confluent fussent rompues. Par suite de ces ruptures, une partie de l'eau s'écoulant dans les vallées, le maximum du débit n'était plus à Tours que de 6,400 mètres ; mais au-dessous de cette ville les affluents relevèrent encore le chiffre de ce débit au-dessus de la capacité du lit indiqué. « Donc (nous citons les propres termes du rapport), un exhaussement des digues serait insuffisant *et ne ferait qu'augmenter le danger*. » On a donc *longuement* recherché si, au lieu d'opposer au fleuve de nouveaux obstacles, il serait possible, *a priori*, de modérer la hauteur des crues, de manière à limiter le chiffre du débit à un maximum inoffensif sur toute la longueur du parcours Pour atteindre ce but, M. Comoy, inspecteur général, présentement chargé de la direction des études de la Loire, a proposé l'établissement, dans la vallée supérieure de ce fleuve, de trente-trois réservoirs, et, dans celle de l'Allier, de trente-cinq, d'une capacité totale de 520 millions de mètres cubes. Il pense, ou plutôt il

pensait que cette gigantesque retenue suffirait dans les plus fortes crues pour maintenir à 6,000 mètres cubes le débit du fleuve au-dessous du confluent de l'Allier, et « dès lors le fleuve, qui ne reçoit jusqu'à Tours que de moindres affluents, resterait, dans cette partie de son cours, contenu entre ses digues. » Tel est, du moins, l'arrangement de M. Comoy, qui, pour le dire en passant, nous paraît faire un peu trop bon marché des affluents intermédiaires entre le Bec d'Allier et Tours. Enfin, avant la nouvelle inondation, il jugeait que « l'établissement d'autres réservoirs serait plus nuisible qu'utile au-dessous de Tours, et que le seul procédé de défense possible à partir de ce point serait un nouvel exhaussement des digues, parce qu'en général les grands affluents de la basse Loire n'opèrent leur crue qu'après celle des rivières d'amont, et qu'en les emmagasinant de même on risquerait de créer des coïncidences désastreuses. » Cette partie du projet de M. Comoy nous paraît de nature à soulever de sérieuses objections. Puisque, d'après ses calculs, le débit de la Loire se trouvait réduit, à Tours, en 1856, à la capacité normale du lit endigué, il en résulterait que, par suite des submersions en amont, le niveau de la basse Loire se trouvait ramené au point où M. Comoy compte le maintenir par ses réservoirs, et qu'aucun sinistre n'aurait dû se produire en aval de Tours. Or, le fléau a sévi au contraire avec une effroyable violence sur toute la basse Loire. Donc, le fleuve, même réduit au débit de 6,000 mètres à partir de Tours, peut encore occasionner des désastres en ralliant les crues des affluents inférieurs ; et il est indispensable de pouvoir agir énergiquement sur le régime de ces affluents.

D'après les évaluations primitives de M. Comoy, le total des dépenses se serait élevé à 100 millions. Mais, comme l'observe avec raison le ministre, « ce rapport a encore besoin d'être étudié ; » en d'autres termes, il est entièrement à refaire. M. Comoy avait pris pour base la crue de 1856. « Celle de 1866, qui a sur plusieurs points dépassé la première, a démontré que les dispositions calculées par cet ingénieur n'auraient pas suffi pour prévenir les effets de la récente inondation[1]. »

[1] Dans ce supplément d'études, il y aura lieu d'examiner si l'on ne pourrait pas, là où le relief du terrain s'y prêterait, remplacer par des groupes de retenues exécutés à l'origine même des plus fortes sources, une partie au moins de ces gigantesques bassins, d'une exécution si coûteuse, et dont la

Il semble que M. Comoy ait voulu concilier une chose excellente, les retenues en amont, avec une chose mauvaise, le maintien absolu des digues insubmersibles. Ceci nous amène à la dernière opération sommairement indiquée dans la lettre de l'empereur et dans la circulaire de 56, les retraites et submersions temporaires dans certaines parties des vallées basses. C'est principalement aux discussions qui se sont élevées sur ce dernier point qu'il faut attribuer les hésitations, les lenteurs déplorables apportées à la solution du problème. Il y a quatre ans, après avoir énuméré, dans un travail déjà cité, les inconvénients de l'endiguement longitudinal dans les parcours ruraux, nous ajoutions ; « La question se complique et présente, au moins transitoirement, de graves difficultés quand il s'agit d'un fleuve comme la Loire, où le système des levées continues avait été établi sur une vaste échelle ; où, à l'abri de ce rempart, l'industrie des riverains a développé d'importantes cultures que, dans un autre système, il faudra sacrifier à l'étalage fréquent des eaux. Il y aura là des conflits difficiles à éviter entre l'intérêt public et des intérêts privés considérables [1]. Nos prévisions ont été non-seulement justifiées, mais dépassées. Pouvait-on s'attendre, en effet, à voir de graves ingénieurs, par affectation d'indépendance ou par une passion malheureuse pour l'immobilité, soutenir des intérêts privés mal entendus contre l'intérêt public, entraver par leur opposition les mesures les plus sages, les plus urgentes, et devenir ainsi les complices involontaires de nouveaux désastres [2].

En fait de travaux publics, comme de beaux-arts ou de politique, l'un des principaux obstacles au progrès, est la force d'inertie que lui opposent des hommes *arrivés*, qui ne croient pas, ne veulent pas qu'il y ait encore rien à faire après eux. Trop souvent la vieillesse tombe dans ce piége tendu par la vanité et l'amour du repos, et l'on voit des hommes parvenus au terme d'une car-

rupture par suite de nouvelles pluies diluviennes ou de tremblements de terre, pourrait donner lieu à de véritables cataclysmes dans les localités en aval.

[1] *Revue contemporaine*. 2e série, t. LXVI, p. 540.

[2] Ceci, bien entendu, ne s'applique qu'aux défenseurs à outrance des digues insubmersibles, et nullement à M. Comoy, qui, comme on vient de le voir, voudrait un compromis entre l'ancien et le nouveau système, et va même jusqu'à proposer « la construction de digues submersibles sur quelques points des vallées basses. »

rière honorable, faire usage de l'autorité conquise par d'anciens services, pour chicaner et paralyser les innovations les plus heureuses et les plus nécessaires. C'est ainsi que l'amour-propre de quelques vétérans s'est révolté contre l'idée que, pendant bien des années, ils avaient marché au pas accéléré dans une fausse route, en élevant à grands frais, dans un but de protection, des ouvrages qui constituent eux-mêmes, à un moment donné, une sérieuse aggravation de danger. Il s'est donc trouvé, même après la catastrophe de 1856, des ingénieurs émérites pour s'attendrir sur la destruction dont le nouveau programme d'études semblait menacer « les digues longitudinales auxquelles nos vallées doivent leurs richesses, sur le sort réservé à des empiétements agricoles, dont les propriétaires préfèreront souffrir quelques *inconvénients accidentels*, plutôt que d'abandonner des terrains précieux. »

« Les réservoirs naturels, dit le même auteur, sont supportés parce qu'ils sont naturels, mais on ne supportera pas de même d'artificiels[1]. » Enfin, il condamne l'emploi de ce procédé parce qu'il prolongerait le cours moyen des hautes crues, inconvénient pourtant bien préférable à celui des digues et des levées effondrées de haute lutte. Avec de tels arguments, on conclut à l'immobilité, et l'on aboutit aux débordements des fleuves comme à ceux des révolutions.

Plusieurs incidents déjà connus de la récente inondation fortifient encore les accusations déjà portées contre l'endiguement longitudinal. Ainsi, la levée d'Amboise a succombé au même endroit qu'en 1846 et 1856, non plus cette fois par escalade, mais par des infiltrations, des tassements qui se sont produits fort au-dessous du niveau de la crue. Le même fait s'est représenté sur quelques autres points ; sur beaucoup d'autres, et jusque dans les ouvrages urbains de 1858, ce phénomène menaçant commençait à se produire, et la force destructive n'a cédé que grâce à la promptitude et à l'énergie des secours. C'est que l'exhaussement des digues, dont on vient toujours nous reparler, est bien loin de compenser l'inconvénient des matériaux imparfaits, du sable friable dont se compose l'intérieur de ces ouvrages. On a proposé de parer à ce danger en mettant, pour ainsi dire, des pièces au revers de la levée dans les endroits les plus exposés,

[1] *Des Inondations*, etc., par M. J. Dupuit.

qu'on fortifierait d'un revêtement en pierre. Ce serait déplacer le péril au lieu de le détruire. L'eau se rejetterait sur les parties adjacentes non défendues; elles deviendraient susceptibles à leur tour d'érosion ou d'infiltration.

Nous croyons donc que le système des retenues en amont, sur les fleuves, leurs affluents et sous-affluents, doit être complété par des submersions temporaires dans les vallées basses, et qu'on doit renoncer, une fois pour toutes, à ces exhaussements dont chaque nouvelle catastrophe démontre plus éloquemment l'inanité et le danger. Si tout était à refaire, nous nous prononcerions formellement contre l'emploi des digues continues et insubmersibles, ailleurs qu'aux abords immédiats et dans le parcours des villes. Mais, dans la situation actuelle, le mieux serait d'adopter la combinaison proposée il y a déjà dix ans par un de nos ingénieurs les plus distingués, M. Vallès : celle d'ouvrir, dans la levée actuelle, au-dessus du niveau des moyennes crues, des vannes destinées à l'épanchement pacifique des hautes eaux dans des retraites temporaires, circonscrites et partagées par un système de digues transversales. Les terrains qui subiraient ces submersions intermittentes ne seraient pas perdus pour l'industrie agricole; mais convertis en prairies, que le séjour de ces eaux, pacifiquement déversées, améliorerait au lieu de les détruire. Si nos renseignements sont exacts, la ville de Blois vient d'être préservée cette année d'une catastrophe semblable à celle d'il y a dix ans, par un de ces déversoirs dont on contestait l'utilité.

Enfin, il serait indispensable d'ajouter à ces opérations principales, bien des travaux de détail dont l'expérience justifie l'emploi, comme le dragnage assidu des rivières, surtout de celles endiguées dont le lit s'exhausse plus rapidement; comme aussi la destruction, si souvent et si vainement ordonnée depuis deux siècles, des plantations imprudemment accumulées dans les îles; l'ouverture de quelques arches supplémentaires dans certains remblais transversaux des voies ferrées, etc.

Conclusion. — Les termes du dernier rapport ministériel prouvent que le gouvernement, tout en sentant la nécessité d'une solution prompte et énergique, a voulu donner seulement aux populations un gage de sollicitude, et n'a pas encore pris son parti. Puisse du moins cette solution ne plus se faire longtemps atten-

dre! La science doit au pays, affligé du passé, inquiet de l'avenir, elle se doit à elle-même de mettre un terme à ces hésitations dont la responsabilité lui incombe, d'arriver enfin à soumettre et à marquer de son empreinte le magnifique système hydraulique de la France. Peu de contrées, en effet, présentent un relief plus favorable pour un bon aménagement des eaux courantes. On y retrouve cette tendance à un bienfaisant et puissant équilibre, cette heureuse moyenne de tempérament qui caractérise tout à la fois les races dont l'agrégation a formé la nation française, et le territoire qu'elle habite. Dans certains pays, comme l'Espagne, la Grèce, l'Italie méridionale, la nature du sol est essentiellement accidentée ; les eaux s'y précipitent avec une impétuosité qui en rend l'aménagement difficile, et condamne les sommets à l'aridité. Dans certaines parties de l'Allemagne et de la Russie, l'inclinaison trop faible des cours d'eau engendre, au contraire, d'immenses marécages. La configuration du sol français est entre ces deux extrêmes ; elle offre des facilités exceptionnelles pour se préserver du danger des eaux et pour les utiliser en les disciplinant, en les escortant depuis leur point de départ jusqu'à leur embouchure dans la mer.

L'appréciation raisonnée de nos ressources hydrauliques, la possibilité de les utiliser d'une manière plus complète, en mettant autant que possible nos campagnes à l'abri du double fléau de la sécheresse et de l'inondation, ont inspiré à quelques bons esprits l'idée d'un aménagement général des cours d'eau qui arrosent la France. Cette idée devait naturellement se faire jour dans un pays qui tend de plus en plus vers l'unité, où de plus en plus les intérêts divers se touchent, se pénètrent et s'unissent pour se fortifier mutuellement.

C'est seulement au commencement de ce siècle que l'administration conçut la première pensée d'appliquer le principe d'unité au régime de nos eaux intérieures. On en trouve le pressentiment dans une circulaire de Chaptal, recommandant aux préfets l'examen de notre régime hydraulique, au point de vue d'une utilisation plus complète. Cette idée grande et féconde ne fut comprise qu'imparfaitement. Depuis cette époque, d'importants travaux ont été projetés, exécutés, mais en quelque sorte au jour le jour, et seulement pour des fonctions spéciales du réseau hydraulique. La navigation intérieure, les desséchements et les irrigations, les

endiguements, ont tour à tour attiré l'attention de l'État ; mais, faute d'avoir été conçus sur un plan d'ensemble et dirigés vers le but général, les résultats ont rarement répondu à ses efforts et aux espérances des populations. L'administration a presque toujours rencontré devant elle deux obstacles majeurs. L'un est la dépense ; l'autre, plus grave encore, l'antagonisme des intérêts engagés dans les diverses fonctions du résau hydraulique. Les riverains n'envisageaient les cours d'eau qu'au point de vue de tel ou tel service spécial, ou ne voyaient dans la question générale du bon emploi des eaux que la satisfaction d'intérêts individuels et immédiats. C'est ainsi qu'on a créé et multiplié des forces motrices, au détriment de l'intérêt de tous, chaque fois qu'on croyait pouvoir le faire impunément. Aujourd'hui tous les hommes éclairés paraissent s'accorder à chercher le remède à ces abus dans un système d'aménagement général.

Ce système embrasserait, d'abord dans chaque grand bassin fluvial, puis, en sous ordre, dans chaque vallée, tous les services qui correspondent aux divers emplois des eaux ; desséchements, irrigations, navigation, organisation des chutes, distribution des eaux potables, mesures préventives contre les inondations. Les travaux d'aménagement se trouvant ainsi combinés au point de vue des divers services entrepris d'ensemble, la somme des frais serait inévitablement inférieure à celle des dépenses qu'exigerait chaque service entrepris isolément. On comprend, par exemple, que de cette réglementation générale ressortirait virtuellement l'exécution la plus économique et la plus rapide du système de défense contre les inondations que nous avons précédemment exposé. En effet, chacun des ordres de travaux qui forment les trois étapes de ce système, l'imbibition, les retenues supérieures, les digues de reflux, présentent une utilité complexe, puisque le volume d'eau qu'on parvient à soustraire ainsi au fleuve, où sa présence créait un danger, peut être recueilli pour l'irrigation, pour la création de forces motrices ou pour le colmatage.

Cette œuvre de réglementation ne serait autre chose, au fond, qu'une prise de possession complète de notre territoire ; qu'une conquête pacifique, plus durable et plus fructueuse que la guerre ou que les colonisations lointaines. Elle pourrait être opérée, soit par l'État seul, soit avec le concours de l'industrie privée, mais toujours au moyen d'une répartition normale du service des eaux,

suivant les circonscriptions hydrographiques. Mais de quelque façon qu'on s'y prenne, ce ne sera toujours qu'en utilisant les eaux de la manière la plus large et la plus complète, qu'on parviendra à en amoindrir sensiblement le danger, peut-être même à le supprimer tout à fait. La science a ici une revanche à prendre ; il importe qu'elle soit complète, qu'elle soit prompte surtout, et que la terrible leçon de cette année ne soit pas perdue, comme l'a été en grande partie celle de 1856.

Baron Ernouf.

III

LE MONTAGE HYDRAULIQUE DES MATÉRIAUX

L'art de l'ingénieur a fréquemment prêté son concours à l'édilité parisienne pour accélérer le travail gigantesque auquel nous assistons. Depuis quelques années, des instruments nouveaux ont été imaginés, et souvent ils ont rendu rapides et économiques des opérations autrefois longues et coûteuses. Dès le début d'une construction et jusqu'à son complet achèvement, il faut élever les matériaux à des hauteurs plus ou moins considérables. Naguère encore on procédait à ce travail par les moyens les plus grossiers. Qui ne se rappelle avoir vu autrefois dans les maisons en cours d'exécution de grandes chèvres à haubans, à l'aide desquelles, péniblement et lentement, les maçons élevaient les pierres aux différents étages ? De nos jours, la pierre est à peine extraite de la carrière qu'elle doit être mise en place. Toutes les opérations intermédiaires s'exécutent rapidement pour obtenir ce résultat. Le travail n'en vaut certainement pas mieux pour cela. Les matériaux ne se livrent pas avec succès à cette course à grande vitesse, et l'avenir nous démontrera sans doute que l'art de bâtir doit procéder avec plus de lenteur, car « le temps ne respecte guère ce qu'on fait sans lui. »

On a employé la vapeur pour élever les matériaux de construction. Journellement fonctionnent à Paris des machines locomobiles, qui à l'aide d'une transmission de mouvement convenable-

ment disposée, enlèvent sans difficulté les pierres, briques, etc. Le moteur Lenoir est également utilisé pour ce genre de travail avec de grands avantages, et notamment avec une grande économie[1]. On continue enfin à employer dans les travaux de peu d'importance, ou lorsqu'on n'est pas pressé par le temps, des treuils ou différents systèmes mis en mouvement par des manœuvres.

Pour transporter rapidement les matériaux du sol où ils sont apportés aux différents étages où ils doivent être mis en place, M. Édoux, ingénieur civil, a imaginé récemment un système aussi simple qu'ingénieux qui fonctionne dans un grand nombre de constructions à Paris. Ce monte-charge est une véritable balance hydraulique dont les deux plateaux sont formés de caisses en tôle, divisées en trois compartiments par deux cloisons également en tôle, qui peuvent être remplies d'eau et vidées à volonté. Elles sont reliées par une chaîne de Galle enroulée sur trois poulies fixées à la partie supérieure des sapines. L'échafaudage nécessaire à l'établissement de ce moteur est composé de deux tours accolées en bois de charpente, solidement assujetties à la base. L'une des caisses est guidée par les montants de la première tour, tandis que l'autre caisse se meut dans l'intérieur de la seconde, ce mouvement alternatif de descente et d'ascension est réglé par des galets disposés en diagonale à la partie inférieure de chaque réservoir. Ces galets glissent contre les montants verticaux et empêchent les plateaux d'osciller.

Pour bien comprendre le jeu de cet appareil, supposons l'une des caisses vide en bas, tandis que l'autre caisse également vide est arrêtée, au niveau de l'étage qu'il s'agit de desservir. On fait alors la charge sur le plancher du plateau inférieur, de pierres, de briques, ou de sacs à plâtre, etc. Un tube qui amène l'eau de la ville est fixé le long d'un montant central de la sapine, de manière à pouvoir être mis en communication avec l'un ou l'autre réservoir et permet de remplir d'eau la caisse placée à la partie supérieure, à un étage quelconque de la construction. Lorsqu'un frein que manœuvre constamment l'ouvrier chargé du mécanisme, cesse de retenir les deux caisses, le réservoir plein d'eau descend et oblige le réservoir qui lui fait équilibre avec sa charge à s'élever, en vertu de la différence du poids. Il suffit en effet pour déterminer

[1] Voyez *Annuaire* de 1862, page 173.

cette ascension que le poids de l'eau contenue dans la caisse surpasse le poids des matériaux à élever, ce qu'on peut toujours obtenir. La surcharge qui détermine ce mouvement est d'environ 200 à 300 kilogrammes. Le réservoir plein d'eau étant descendu à la partie inférieure est vidé, et l'eau s'écoule dans l'égout, soit directement, soit à l'aide d'un conduit souterrain de communication. La marche de l'appareil arrêtée à l'aide du frein, on décharge les matériaux. Dans l'opération suivante, ce sera la caisse primitivement pleine d'eau qui élèvera les matériaux tandis que l'autre caisse remplie d'eau à son tour déterminera le mouvement.

Il n'y a aucun danger dans la manœuvre, puisque le frein permet toujours de régler la vitesse de chute et d'arrêter la descente du plateau à un moment quelconque. Cette vitesse est d'ailleurs peu considérable puisqu'elle n'atteint guère que 1 à 2 mètres par seconde. La charge qu'on peut élever ainsi varie entre 1,000 et 4,000 kilogrammes. On peut facilement augmenter ce poids en ne laissant descendre la caisse pleine d'eau qu'après avoir chargé son plancher, soit avec des matériaux qu'on veut faire redescendre ou avec des plâtras ou autre corps. L'installation de cet appareil se fait en quelques jours seulement et sans nécessiter des dépenses bien considérables. Un manœuvre quelconque peut le faire fonctionner, et tout nous porte à croire que de tous les procédés employés actuellement pour élever les matériaux dans les constructions, l'appareil Édoux permet de réaliser la plus grande économie. Le prix de revient de ce monte-charge installé dans un chantier couvrant de 300 à 400 mètres carrés et cubant 1,000 à 2,000 mètres, s'élève à 1,800 francs en comprenant le tour, le treuil et la transmission, l'eau employée, le graissage, les frais divers, les frais généraux, la conduite de la machine, etc.

Cette balance hydraulique est susceptible de recevoir un grand nombre d'applications, dans les villes où les réservoirs d'eau sont assez élevés pour atteindre le niveau des étages supérieurs des édifices; nous ne doutons pas que beaucoup d'industries ne puissent l'utiliser avec avantage, et trouver dans son emploi une notable économie sur les autres procédés en usage dans le montage des matériaux de construction.

P. Schwaeblé.

IV

BIBLIOGRAPHIE

Navigation a vapeur, par M. *E. Flachat*. 2 vol. in-8 et un atlas, chez Baudry. — La Vie souterraine, les Mines et les Mineure, par M. *L. Simonin*, un beau volume gr. in-8 avec cartes, figures dans le texte, planches coloriées, etc., chez Hachette.

Nous avons déjà entretenu les lecteurs de l'Annuaire des travaux de l'audacieux ingénieur qui a dressé les plans d'un chemin de fer franchissant les Alpes, sans attendre le glorieux, mais long percement du mont Cenis. Toutes les publications de M. Flachat attirent l'attention, et, si son ouvrage sur la navigation a paru trop tardivement pour que nous ayions pu lui consacrer une étude approfondie, nous devons au moins indiquer combien sont importantes les questions qui y sont traitées. M. Flachat étudie avec soin les conditions de stabilité des navires, le prix de leur construction ; il appuie ses opinions non-seulement sur des considérations mathématiques, mais aussi sur les observations nombreuses que fournissent les voyages accomplis chaque jour. Il ne faudrait pas croire, au reste, que ce livre ne convienne qu'aux hommes de la profession, et que c'est un long et sec exposé des règles à suivre dans les constructions nautiques; l'auteur sait, au contraire, animer son discours, et le récit des naufrages dont il cherche la cause technique est présenté sous la forme la plus saisissante. Dans un de ses premiers chapitres, M. Flachat compare les avantages que présentent les vaisseaux en fer aux défauts des bâtiments en bois, et il faut reconnaître avec lui que les bâtiments métalliques, plus solides, d'une plus longue durée, plus faciles à construire, parce que l'ouvrier qui travaille le fer se rencontre bien plus aisément que celui qui façonne le bois, sont plus avantageux; mais M. Flachat ne passe-t-il pas un peu rapidement sur l'inconvénient capital de ces bâtiments : la facilité avec laquelle leur coque se couvre de coquillages, d'herbes, etc., qui obligent à des nettoyages multipliés ? L'histoire détaillée du *Great-Eastern*, qui vient d'accomplir glorieusement la pose du cable transatlantique, la discussion de ses qualités nautiques et de ses défauts,

fournissent encore un chapitre des plus dignes d'intérêt. Le lecteur curieux de toutes les questions économiques et techniques qui touchent à la navigation, trouvera dans le livre de M. Flachat une source d'idées neuves et d'opinions solidement assises dont il ne pourra manquer de tirer profit.

Si aimer son sujet est une condition indispensable pour le bien traiter, M. Simonin ne pouvait manquer de réussir; si, aujourd'hui, il se délasse, en faisant de beaux livres, de ses rudes labeurs d'ingénieur et de ses longs voyages, on sent à chaque page qu'il a pour la vie austère du mineur un vif attachement. Ce sentiment est naturel ; ce n'est pas sans quelque secret plaisir qu'on se rappelle les traverses auxquelles on a échappé et que, au milieu des aises de la vie civilisée, on voit repasser devant soi les années de la première jeunesse, et leurs rudes privations, et les durs assauts qu'on a dû livrer pour conquérir sa place au soleil. Virgile a toujours raison :

..... Et hæc olim meminisse juvabit.

Toute la première partie de l'ouvrage de M. Simonin est consacrée au mineur de houille. Jetant un rapide coup d'œil sur les âges géologiques, il nous montre la puissante flore de la période houillère purifiant notre atmosphère de l'acide carbonique qu'il renfermait et condensant cette masse de charbon que nous utilisons aujourd'hui.

Des cartes nombreuses nous indiquent comment aujourd'hui est distribuée la grande richesse minérale, le combustible; puis, et c'est là une des parties les plus attachantes de l'ouvrage, nous suivons le mineur dans tous ses travaux. Nous le voyons descendre au fond du puits, accomplir son labeur et lutter courageusement contre ses terribles ennemis, le feu grisou et l'inondation. La plume colorée de M. Simonin aurait suffi à nous montrer les terribles spectacles qu'offre parfois la mine, et cependant ce n'est pas sans plaisir que nous regardons les gravures excellentes qui, à chaque instant, animent le texte.

L'extraction des pierres précieuses et des métaux est le sujet de la seconde partie du volume. Ici encore M. Simonin parle *de visu*, car il a suivi en Californie les péripéties du laveur d'or et du chercheur de gemmes; l'auteur, au reste, ne se contente pas de dé-

crire : il veut montrer, et il enrichit son ouvrage de planches coloriées, représentant les minéraux précieux et les minerais les plus importants d'une admirable exécution... Arrêtons-nous. M. Simonin a bien voulu détacher de son beau volume quelques pages que le lecteur a trouvées dans la partie de ce volume consacrée à la géologie, et nous aurions mauvaise grâce à louer comme il le mérite un de nos collaborateurs; nous ne saurions toutefois quitter la plume sans être frappé de l'injustice qu'on fait parfois au public quand on prétend qu'il aime surtout les œuvres faciles et brillantes, et néglige les travaux solides et consciencieux. Le succès qu'a si justement obtenu *le Ciel*, de notre excellent ami M. Guillemin, est une preuve éclatante qu'on peut réussir *quoiqu'on* fasse très-bien, et nous pensons que les grandes qualités de *la Vie souterraine* ne lui nuiront pas davantage.

P. P. Dehérain.

ART MILITAIRE

LES ARMES A FEU PORTATIVES

> La philosophie a heureusement rapetissé la guerre; les négociations la remplacent; la mécanique achèvera de l'annuler par ses inventions.
>
> A. DE VIGNY.

I.

Historique. — Premières armes à feu. — Hacquebutes. — Arquebuses à croc. — Premières armes rayées. — Rôle de l'infanterie. — Platine à rouet. — Platine à rouet ou à serpentin. — Pistolet. — Pétrinal ou Poitrinal. — Mousquet. — Mousqueton. — Fusil. — Batterie à silex. — Cartouches. — Baïonnette. — Platine à percussion. — Capsules.

Les événements récents dont le centre de l'Europe vient d'être le théâtre, auront suffisamment démontré aux esprits les plus pacifiques la nécessité pour la France de modifier son organisation militaire [1]. Cette réorganisation portera certainement sur le matériel et le personnel de l'armée. Bien que, dans une question aussi vitale, il appartienne à chacun d'apporter à la discussion les éléments qu'il juge utiles, bien que le projet de réorganisation de l'armée soulève de graves objections, le cadre de cet ouvrage nous force à laisser de côté l'étude des améliorations à apporter dans le personnel, c'est-à-dire dans le mode de recrutement, dans la répartition des contingents et dans la formation des réserves. S'il nous est permis toutefois d'exprimer ici un vœu pour la réorganisation d'une armée vraiment nationale, nous souhaitons, et nous le croyons possible, qu'on applique sans restriction aucune, la loi du 5 septembre 1798, sur la conscription : « Tout Français est soldat, et se doit à la défense de la patrie. »

[1] Nous sommes bien loin de notre première armée permanente, laquelle, créée par Charles VII, se composait seulement de 16,000 fantassins et de 9,000 cavaliers.

Un État voisin de la France, que le succès des armes peut avoir ébloui, que le désir d'augmenter son territoire peut entraîner trop loin de notre côté, possèdera bientôt une armée de 1,200,000 hommes, et cela avec une population plutôt inférieure qu'égale à celle de la France. Non-seulement cette armée sera puissante par le nombre des hommes, mais aussi par son armement perfectionné. C'est sur cette dernière question, dont on s'est beaucoup occupé en France depuis quelque vingt ans et en ne considérant que les armes portatives, que nous devons donner quelques détails à nos lecteurs.

Les premières armes à feu, d'après Froissart, ont été employées en avril 1340, sous Philippe VI, lors d'une tentative des Français, commandés par le duc de Normandie, contre les fortifications du Quesnoy : « Mais elle était si bien pourvue de bonnes gens d'arme et de grande artillerie que les Français eurent perdu leur peine à les assaillir. Nonobstant ils escarmouchèrent quelque peu devant les barrières, mais on les fit retraire ; car ceux du Quesnoy décliquèrent canons et bombardes qui jetaient grands carreaux. Les Français se boutèrent sur leurs chevaux, et, se retirant, ardirent tous les bourgs et villages jusques auprès de Valenciennes. » (Froissart.) Au début les canons et bombardes, cités par Froissart, lançaient en effet des pierres et des carreaux et étaient surtout employés dans l'attaque et la défense des places. Quelques années après le siége du Quesnoy, à la bataille de Crécy si funeste pour les armes françaises, Édouard III, roi d'Angleterre, avait disposé entre ses archers « des bombardes qui, avec du feu, lançaient de petites balles de fer pour effrayer et détruire les chevaux, et ces bombardes menaient si grand bruit et tremblement qu'il semblait que Dieu tonnât, avec grand massacre de gens et renversement de chevaux. » (Villain.) On ne prévoyait guère alors quel serait, quelques siècles plus tard, le succès de ces armes. Montaigne, longtemps après, prétendait que les armes à feu étaient tout au plus bonnes à effrayer les oreilles, et que dès qu'on y serait habitué, comme elles n'avaient pas grand effet, on cesserait bientôt d'en faire usage. Il serait à souhaiter qu'elles n'eussent jamais eu et surtout qu'elles n'eussent jamais d'autre effet que d'assourdir !

Les premières armes à feu employées régulièrement par l'infanterie datent de la fin du quatorzième siècle. Elles étaient seulement

composées d'un tube en fer creux du poids de 15 kilogrammes environ, et lançaient des balles de plomb, au moyen de la force de projection de la poudre. Ces armes portaient le nom de canons à main. Pour les tirer, on les disposait solidement sur des chevalets, et à l'aide d'une mèche enflammée on transmettait le feu à la poudre par une ouverture ou lumière pratiquée dans le canon. Mais ces armes étaient lourdes, et par conséquent difficiles à porter et à manœuvrer. Afin de les rendre plus légères et plus mobiles, on les diminua de longueur, et on disposa deux tourillons près du centre de gravité. On plaça en même temps un arrêt ou croc pour diminuer le recul, et on ajouta une poignée que le tireur manœuvrait de la main gauche, tandis qu'il transmettait le feu de la main droite. Telles furent les armes désignées sous le nom d'hacquebutes et d'arquebuses à croc.

Si nous nous transportons maintenant à la fin du quinzième siècle, nous voyons l'arquebuse se compléter. Le canon ne reste plus isolé, il est monté sur un fût ou support en bois terminé par une crosse cintrée, de manière que l'arme puisse s'appuyer commodément contre l'épaule. Ce canon repose encore sur une fourchette ou béquille, mais la lumière qui, primitivement était placée sur la partie supérieure du canon, est percée maintenant sur le côté. Le tir de ces armes n'avait aucune justesse, aussi chercha-t-on, dès cette époque, à les perfectionner. En 1498, Gaspard Zollner, armurier de Vienne, fabriqua le premier des canons munis de rayures intérieures ; il avait observé que les rayures pratiquées à la surface interne de l'arme, parallèles à l'axe du canon et rectilignes comme les génératrices d'un cylindre, donnaient au tir une grande précision. On conçoit facilement, en effet, que lorsque la balle joue dans l'intérieur de l'âme, elle éprouve avant de quitter le canon, un mouvement irrégulier de bas en haut, une série d'oscillations qui empêchent de prévoir sa direction en quittant la bouche. Aussi ne doit-on pas s'étonner que, en campagne, et même de notre temps, avec les fusils ordinaires, il y ait à peine un coup qui porte sur deux mille coups tirés. Les rayures dans lesquelles la balle se trouve emprisonnée, qu'elle doit forcément suivre dans l'âme, ont pour but de s'opposer à ces battements, et de lui imprimer une direction déterminée et certaine.

Auguste Kotter de Nuremberg, au commencement du seizième

siècle, cherchant à se rendre compte de l'influence du mouvement des projectiles dans l'âme sur leur mouvement dans l'air, disposa des rayures inclinées. Le but de cette inclinaison était de forcer le projectile à prendre un mouvement de rotation dans l'air. Mais quoique les armes rayées eussent été employées surtout au siècle suivant, en Pologne et en Bavière, on abandonna en France cette disposition des parois internes du canon, à cause de la difficulté et de l'embarras du chargement. Le chargement des armes rayées s'effectuait alors à l'aide d'un maillet.

Les Français d'ailleurs n'avaient pas mis un très-grand empressement à adopter les armes à feu parce qu'ils les trouvaient avec raison, incommodes et incomplètes. Elles n'étaient, en effet, qu'armes de jet et nullement armes d'hast. Or, depuis longtemps déjà notre infanterie excellait dans le maniement de ces dernières ; à elles seules, il est vrai, elles ne pouvaient suffire contre un ennemi pourvu d'armes à feu : pour être complètes, elles devaient permettre à la fois le combat à distance et les luttes corps à corps. Dès le quinzième siècle, sous les règnes de Charles VIII, de Louis XII et de François Ier, il y eut en Italie beaucoup d'artillerie à la suite des armées françaises, mais les arquebuses étaient très-peu employées par les hommes à pied et encore moins par la cavalerie. Ces armes très-lourdes et très-embarrassantes, puisque les hommes d'armes avaient à leur solde des valets pour les porter, présentaient un plus grave inconvénient encore : en raison de leur mauvaise fabrication, leurs canons en fer crevaient fréquemment ; on conçoit donc que le soldat n'avait que peu de confiance dans un semblable engin, dont il lui était difficile et même dangereux de faire usage, et qui, à un moment donné, pouvait rester inerte entre ses mains ?

Si, pendant une certaine période, l'infanterie espagnole a occupé le premier rang en Europe, il ne faut en chercher d'autre cause que dans la répulsion des Français à adopter les armes de jet. Mais, après la bataille de Pavie, où les Espagnols durent en grande partie la victoire au feu bien dirigé d'arquebusiers basques, excellents et rapides tireurs, l'ordre fut donné en France de substituer, dans toute l'armée, les armes à feu aux arbalètes. Les grands capitaines de François Ier et de Henri II accordaient, dans la tactique militaire, une grande supériorité à l'infanterie, mais cette infanterie était trop mal équipée pour que les généraux de

cette époque aient pu obtenir les brillants succès que la fameuse *furia francese* leur donnait le droit d'espérer. Au contraire, leurs successeurs ont donné la préférence à la cavalerie légère, à cause sans doute des guerres de religion, guerres de partisans, petits combats, escarmouches auxquels les seigneurs prenaient part plus volontiers à cheval qu'à pied. Pendant ce temps l'arquebuserie ne fit pas de grands progrès. A la bataille de Rocroy pourtant, malgré les embarras de la France qui ne pouvait opposer à l'ennemi qu'une vingtaine de mille hommes, le grand Condé sut faire reprendre à l'infanterie tout son prestige, toute sa gloire, en la commandant et la faisant manœuvrer comme un général expérimenté, quoiqu'il n'eut alors que vingt-deux ans.

Les armes de l'infanterie française sont restées longtemps difficiles à manœuvrer; il fallait s'occuper à la fois de viser et de porter le feu à la lumière à l'aide d'une mèche. Pour simplifier et accélérer ces opérations, on imagina au seizième siècle la platine à rouet d'abord, puis la platine à mèche ou à serpentin. Le premier système, la platine à rouet, se composait d'un chien qu'on pouvait à volonté approcher ou éloigner du bassinet. L'extrémité de ce chien formait mâchoire de manière à maintenir solidement fixée une plaque d'un alliage d'antimoine et de fer. Une roue dentée, à laquelle on pouvait imprimer un mouvement de rotation à l'aide d'un ressort et d'une détente, pénétrait en partie dans le bassinet. Le chien abaissé, la roue frottait rapidement sur la plaque métallique. Ce frottement rapide faisait jaillir des étincelles qui mettaient le feu à la poudre. — Le second système, la platine à serpentin, consistait en une tige recourbée, portant à son extrémité la mèche enflammée. Cette tige mobile, au moyen d'un ressort, pouvait être à volonté approchée du bassinet. Dans les deux systèmes, quand l'arme n'était pas employée, le bassinet restait fermé par une coulisse métallique. L'arquebuse à mèche était réservée à l'infanterie qui, en campagne, devait toujours marcher mèche allumée, tandis que l'arquebuse à rouet plus légère et qui exigeait plus de précaution et d'habileté, était l'arme de la cavalerie. Vers le milieu du même siècle, les arquebuses de la cavalerie furent réduites à une longueur telle, qu'on pût facilement les tirer à bras tendus. On obtint ainsi les pistoles ou pistolets, ainsi nommés parce qu'ils ont été construits pour la première fois

à Pistoja, suivant les uns, ou parce que le canon avait précisément le diamètre de la pistole, suivant les autres.

Presque à la même époque, on a fait un usage assez fréquent d'une arme désignée sous le nom de pétrinal ou poitrinal ou encore pétronel. C'était une arquebuse de moyenne longueur qu'on appuyait contre la poitrine.

Au commencement du siècle suivant, les armes de l'infanterie deviennent plus courtes que les arquebuses et prennent le nom de mousquets et de mousquetons. Ces armes, toujours à rouets, étaient du calibre de 20 à 22 pour le matériel de campagne, et de 12 à 16 pour les siéges. Les crosses étaient surtout moins recourbées que celles des arquebuses, elles étaient presque droites.

Enfin on apporta dans le mode d'inflammation de la poudre une grande modification. Au lieu d'obtenir l'étincelle par le frottement, on la produisit par le choc. La plaque métallique, alliage d'antimoine et de fer, fut remplacée par le silex. La poudre contenue dans le bassinet, qui constituait l'amorce, fut enflammée par l'étincelle qui résultait du choc du silex sur une pièce d'acier. On reconnut promptement la supériorité de ce système, et toutes les nations de l'Europe s'empressèrent de l'accepter. De cette époque (1646) date le fusil proprement dit (de l'italien *fucile*, pierre), qui fut mis entre les mains des fusiliers. L'emploi du silex, ou pierre à fusil, était en effet un immense progrès. Auparavant, il fallait diviser la charge de poudre entre l'intérieur du canon et l'amorce. Les soldats portaient toujours avec eux des poires à poudre dont la partie supérieure était recouverte d'une boîte cylindrique. A l'aide d'un ressort, on faisait passer la poudre de la poire dans la boîte, et cette capacité correspondait précisément à un coup. Mais il fallait ensuite, comme nous le disions plus haut, répartir cette quantité de poudre entre l'âme et l'amorce, et cette répartition n'était jamais faite de la même manière, ce qui nuisait à la précision du tir.

Malgré cet important perfectionnement, le tir des armes que nous venons de décrire présentait encore bien des difficultés. La batterie se détraquait facilement, et exigeait souvent des réparations que l'armurier seul pouvait exécuter. L'amorce placée dans le bassinet était aussi bien soumise à l'action du vent qu'à celle de la pluie. Après un certain nombre de coups, la lumière se bouchait, la batterie ne pouvait plus fonctionner parce qu'elle s'en-

crassait, et la pierre, par la même raison, ne produisait plus d'étincelles. Les ratés, par suite, se multipliaient. En outre, dès que les munitions étaient épuisées, le soldat avait entre les mains une arme devenue inutile et toujours embarrassante. L'infanterie française n'avait d'ailleurs cessé d'accorder la préférence aux armes d'hast. Jusque vers le milieu du dix-septième siècle, les piquiers avaient formé plus de la moitié de nos armées ; ce ne fut qu'après la paix d'Aix-la-Chapelle, que le fusil devint l'arme principale de l'infanterie, et enfin son arme unique quand on y eut adapté la baïonnette, l'arme blanche la plus redoutable de nos soldats et la plus redoutée de nos ennemis. C'est à Bayonne, dit-on, que les premières baïonnettes ont été fabriquées vers 1571, et ce ne fut qu'un siècle plus tard que leur application commença à se généraliser. Les mousquets, puis bientôt les fusils, furent promptement munis de baïonnettes, et, à la fin du dix-septième siècle, l'arme de l'infanterie était enfin devenue à la fois arme de jet et arme d'hast.

L'usage des armes à feu s'étant généralisé, on s'efforça d'en perfectionner les différents organes. Vers la fin du siècle dernier, on proposa de remplacer la platine à silex par une batterie à percussion, dans laquelle le feu était communiqué à la charge à l'aide d'une poudre fulminante enflammée par le choc. Dans les premiers essais, cette poudre fulminante était composée de trois parties de chlorate de potasse et d'une partie de soufre. Ce mélange était façonné en petites boules, placées devant la lumière à l'aide d'un mécanisme assez compliqué, et enflammées ensuite par la choc. L'emploi du fulminate de mercure enfermé dans des cuvettes en cuivre embouti appelées capsules, rendit ce mécanisme et toute la manœuvre infiniment plus simple. L'arme put, dès lors, être utilisée malgré le vent et la pluie. Le poids de la charge de poudre restant constant par la suppression de l'amorce à verser dans le bassinet, le tir devint plus exact, en même temps qu'il exigea une moindre dépense de poudre et que les ratés furent moins nombreux.

II

Des armes à balles forcées. — Principe du forcement. — Carabines de Versailles, 1793. — Carabines Delvigne. — Carabine à la Poncharra. — Carabine modèle 1840. — Armes forcées à tige du colonel Thouvenin. — Balle cylindro-ogivale. — Perfectionnements du capitaine Tamisier et de M. Minié. — Balles-obus. — Fusils rayés. — Fusils à tige. — Balle à culot. — Armes étrangères. — Carabine Enfield. — Carabine Whitworth.

Jusqu'à la fin du siècle dernier et presque jusqu'au commencement de celui-ci, on s'est peu préoccupé de donner aux armes à feu une plus grande justesse de tir. Gustave Zollner et Auguste Kotter avaient bien, dès le seizième siècle, disposé des rayures dans l'âme ; mais, comme nous avons déjà eu occasion de le dire, les armes rayées étaient peu employées. La science, était encore trop peu avancée pour qu'elles eussent pu faire de grands progrès. La balistique, cette partie de la mécanique, qui traite du mouvement des projectiles, du tir des armes à feu, des effets des projectiles et de toutes les questions qui s'y rattachent ne date que des travaux des Poisson, des Piobert, des Didion, des Hélie, etc., et c'est seulement quand on a pu s'appuyer sur ces savantes recherches qu'on s'est occupé sérieusement d'améliorer le tir de toutes les armes à feu.

Lorsque le projectile est chassé de l'arme par l'impulsion des gaz produits dans la combustion de la poudre, son mouvement ne dépend pas seulement de cette force initiale ; car, si cela avait lieu, en raison des lois de l'inertie, le mouvement serait rectiligne et uniforme. Il y a en premier lieu une perte de vitesse due au vent du projectile. Nous avons expliqué dans le paragraphe précédent, quelle en était la conséquence. En second lieu, le ralentissement du mouvement est dû à la résistance de l'air, et enfin l'action constante de la pesanteur est une troisième cause qui produit une diminution de la vitesse[1]. Pour lutter contre

[1] M. Martin de Brettes, chef d'escadron d'artillerie, professeur de sciences appliquées à l'école d'artillerie de la garde impériale, a présenté, tout récemment, à l'Académie des sciences, un mémoire qui traite de l'influence de la rotation de la terre sur le mouvement des projectiles.— L'illustre Poisson avait déjà observé que, sur notre hémisphère, la rotation de la terre déterminait une déviation du projectile à droite du plan de tir, quel que soit l'azimut de ce dernier, et, d'après les calculs, il avait trouvé qu'une bombe de 32 centimètres, à 4,000 mètres de distance, serait déviée de 8 mètres, à notre lati-

l'influence de la différence des diamètres du projectile et de l'âme, et pour laisser aux gaz de la poudre le temps de se développer en entier avant le mouvement de la balle, on avait imaginé de refouler sur la charge, à l'aide de lourdes baguettes en fer, un tampon en bois. On obtint ainsi le résultat sur lequel on comptait ; seulement, la manœuvre était longue, difficile, presque inapplicable en campagne, et l'arme était bientôt dégradée. Si d'ailleurs, pour parvenir à une grande précision dans le tir, il n'y avait eu qu'à remédier à la déperdition des gaz de la poudre, une solution simple, immédiate se présentait : il n'y avait qu'à augmenter la charge de poudre, et tout en laissant échapper une certaine quantité de gaz, on aurait pu produire avec le reste la force d'impulsion nécessaire. — Mais n'oublions pas aussi que le vent a le plus grave inconvénient, que nous avons déjà signalé, de donner aux projectiles une direction différente de celle de l'axe de l'arme à feu, et que c'est à cause de cela même qu'on avait fait des essais d'armes rayées. Ces rayures, droites d'abord, avaient été inclinées ensuite, mais toujours construites d'une manière empirique.

Le premier système d'armes rayées employées en France est la carabine de Versailles, modèle 1793. — L'âme de cette carabine était comme taraudée de sept rayures en hélice faisant une révolution complète sur la longueur du canon. — Pour charger cette

tude, par suite de la rotation de la terre. Cette dérivation qui croît avec la latitude, est maxima aux pôles et nulle à l'équateur.

M. Martin de Brettes a cherché à vérifier ces résultats par des expériences. Il a reconnu que l'effet de la rotation de la terre pouvait, dans certains cas, contribuer pour moitié à la dérivation pratique du projectile, et que, par suite, l'influence de cette action ne devait pas être négligée.

Si, lorsque la dérivation des projectiles est aussi sensible, on change le sens des rayures, on peut arriver à contre-balancer l'influence de la rotation terrestre et celle de la résistance de l'air, de manière à maintenir le projectile dans la direction même de la ligne de tir.

Une autre conséquence, très-curieuse, c'est que lorsqu'on passe d'un hémisphère à l'autre, comme le sens de la rotation de la terre change par rapport au plan de tir, son action directrice sur les projectiles change aussi, et, par conséquent, l'artillerie américaine ne doit pas être disposée comme l'artillerie française : les rayures doivent avoir dans chaque pays une inclinaison différente. Il serait intéressant de déterminer le changement à apporter dans la direction des rayures par un nombre de degrés déterminés parcourus sur la surface du globe terrestre.

arme, après avoir introduit la charge de poudre, on chassait à l'aide d'un maillet, la balle sphérique enveloppée dans un morceau de peau graissée, appelée calepin, jusqu'au fond de l'âme. Ce mode de *chargement forcé* était difficile, long, dangereux, et avait dû faire renoncer à l'emploi de la baïonnette. Aussi, quoiqu'on eut fait construire deux modèles de carabine, l'un pour l'infanterie, l'autre pour la cavalerie, on les abandonna dès 1805. Plusieurs puissances européennes continuèrent pourtant d'en armer des tirailleurs et obtinrent de bons résultats. « Si l'on voulait se donner la peine de fouiller dans les cartons du ministère de la guerre, dit Arago, on y trouverait un rapport important du colonel Lebeau, du 1er régiment d'infanterie de ligne. On y lirait qu'à la bataille de Waterloo, presque tous les officiers de ce régiment et le colonel lui-même furent blessés par des balles de fusils rayés, par des balles que M. Lebeau appelait des balles d'officiers, car les riflemen anglais qui tiraient sur son régiment, dédaignant le commun des soldats, avaient visé les officiers, et, comme on voit, ne les avaient pas manqués. »

Si nous cherchons à mieux nous rendre compte de l'influence du vent sur le mouvement des projectiles, nous reconnaîtrons qu'il est la cause du mouvement de rotation que prennent les projectiles à leur sortie de l'âme. Ce mouvement de rotation se compose avec le mouvement de translation qu'imprime la poudre, et de là résulte une déviation pendant la durée du trajet. Les rayures pratiquées sur la face interne du canon doivent avoir pour but de rendre le mouvement de rotation régulier et dépendant du mouvement de translation. S'il est possible que le projectile accomplisse sa rotation autour de l'axe de translation, il n'y aura évidemment aucune déviation ; dans le cas contraire, si on connaît à l'avance l'angle d'écart, en redressant la ligne de tir, on se sera mis à l'abri de cette déviation.

M. Delvigne, lieutenant d'infanterie, proposa en 1827 un fusil, nouveau modèle, avec des rayures obliques, et permettant le forcement de la balle. Ce savant officier consacra plus de vingt années de travail pour assurer le succès de son invention, qu'il n'avait pas craint de soumettre au jugement de l'Académie des sciences. La poudre était logée dans une capacité cylindrique dont le volume correspondait précisément à la charge. La balle sphérique, engagée dans l'âme, s'aplatissait sous le choc de deux

ou trois forts coups de baguette, et devait, pour ainsi dire, engrener avec les rayures. On évitait donc les lenteurs de l'ancien chargement au maillet, mais on n'obtenait pas un forcement aussi parfait. Sous l'action violente de la baguette, les grains de poudre étaient écrasés, il y avait des tassements, et par suite des vides autour de la surface de la balle en contact avec la culasse. De plus, la balle ayant été aplatie, le centre de gravité du nouveau corps, dont la dernière forme géométrique était celle sur laquelle l'action de la poudre allait s'exercer, pouvait fort bien ne plus se trouver dans l'axe du canon. Le mouvement de rotation de la balle, à sa sortie de l'âme, se faisait au dehors de l'axe du mouvement de translation, avec un angle d'écart variable pour ainsi dire à chaque coup ; les rayures enfin s'encrassaient très-promptement, ce qui rendait le chargement difficile. Malgré ces nombreux inconvénients, l'invention du lieutenant Delvigne présentait un véritable progrès sur toutes les armes précédentes : elle donnait aux armes une justesse de tir inconnue jusqu'alors, puisque de nombreuses expériences ont démontré que la justesse de la carabine Delvigne, comparée à celle du fusil d'infanterie, était dans le rapport de 3 à 2.

Dans ces expériences, où M. Delvigne, très-habile tireur, visait lui-même, il mit dans le but, placé à 500 mètres, quatorze balles sur quinze ; à 700 mètres, sept balles sur neuf et à 900 mètres, deux balles sur trois. Outre cette plus grande exactitude dans le tir cette arme permettait de diminuer très-sensiblement la quantité de poudre, tout en portant à de grandes distances. « L'arme de M. Delvigne changera complétement le système de guerre ; elle en dégoûtera peut-être, et, je n'en serais pas fâché, » disait Arago.

L'invention de M. Delvigne fut bientôt perfectionnée. L'*Annuaire des officiers d'artillerie* mentionne une carabine de tirailleur, à la Poncharra, modèle 1837. Le principe de forcement était le même que celui de la carabine Delvigne, c'est-à-dire qu'il était obtenu par le choc de la baguette contre la balle, mais il était plus parfait par suite d'une modification apportée à la cartouche. M. Poncharra, commandant d'artillerie, avait eu l'idée d'interposer entre la poudre et la balle un petit sabot en bois, entouré d'un morceau de calepin graissé. Le forcement ainsi obtenu était très-régulier, et en outre la répartition des gaz autour de la

balle au moment de la combustion de la poudre était très-uniforme. La charge de poudre était, comme pour la carabine Delvigne, de 4 grammes par coup et le but en blanc placé à 150 mètres[1].

Ces carabines devaient servir à l'armement d'un corps de francs-tireurs, dont le maréchal Soult réclamait l'organisation. Des expériences faites à Maubeuge et à Mutzig, par M. de Mainville, officier d'artillerie, avaient démontré leur très-grande justesse pour des portées qui ne dépassaient pas 300 mètres. Le chargement était aussi facile, aussi prompt que celui du fusil ordinaire; le recul, au moment du tir, était faible, et le canon, moins long que celui des fusils, d'un poids moindre, constituait une arme très-légère avec laquelle on pouvait utiliser la baïonnette et même exécuter des feux de deux rangs. Ces nouvelles armes servirent pendant les guerres d'Afrique. Un bataillon de tirailleurs créé à Vincennes, armé de carabines à la Poncharra, fut envoyé en Algérie, presqu'à l'époque du fameux passage des Portes de fer.

Il est important d'observer que les balles employées dans ces carabines, qui étaient sphériques au moment de leur introduction dans le canon, s'aplatissaient sous le choc de la baguette, et prenaient pour ainsi dire la forme d'une lentille biconvexe. Quelle pouvait être l'influence de cette nouvelle forme, et n'était-il pas préférable de chercher à maintenir la forme sphérique en introduisant dans l'arme un solide allongé en forme d'olive? Lorsqu'un

[1] Pour ceux de nos lecteurs qui ne seraient pas familiarisés avec cette dernière expression : but en blanc, nous croyons utile d'en donner la définition. Tout le monde sait que lorsque le projectile abandonne la bouche d'un canon, il ne se meut plus suivant une ligne droite, mais bien suivant une courbe, appelée trajectoire, qui résulte de la vitesse initiale, de la résistance de l'air et de l'action de la pesanteur. Cette courbe est une parabole, et on la distingue dans la balistique sous le nom de ligne de tir. Or, la ligne de mire, déterminée par le rayon visuel passant par deux points fixes, par conséquent une ligne droite, est différente de la ligne de tir. La ligne de mire rencontre en deux points la ligne de tir : 1° en un premier point voisin de la bouche; 2° en un second point plus ou moins éloigné, qui porte le nom de but en blanc. Si on fait varier la ligne de mire, on changera la distance du but. Dans les armes carabinées que nous venons de décrire, la trajectoire est, comme on le dit, très-tendue, c'est-à-dire qu'elle diffère peu d'une ligne droite, mais au delà la courbure de cette trajectoire devient sensible, et le projectile s'abaisse de plus en plus dans son mouvement. On fait varier la ligne de mire à l'aide d'une hausse à charnière fixée sur le canon.

solide prend un mouvement de rotation autour d'un axe instantané, ce mouvement ne tarde pas à s'effectuer autour de l'axe qui présente le plus de stabilité, et qui n'est autre que l'axe du plus grand moment d'inertie. Si nous appliquons ces résultats à la balle sphérique aplatie, l'axe du plus grand moment d'inertie de cette sorte d'ellipsoïde est précisément le petit axe, celui qui se confond avec l'axe du canon. Le mouvement de rotation s'effectuera donc suivant un axe qui ne sera autre que celui du mouvement de translation, et comme nous l'avons déjà fait remarquer, il n'y aura pas de déviation. Au contraire, en adoptant la seconde forme, celle allongée en olive, l'axe du plus grand moment d'inertie est normal à l'axe du canon; donc l'axe du mouvement de rotation tendra à se mettre en croix avec l'axe du mouvement de translation, et le mouvement résultant produira forcément une déviation. Les expériences que nous avons citées, faites à Maubeuge et à Mutzig, ont parfaitement confirmé les conséquences des théories de la mécanique. La balle sphérique fut donc adoptée.

La carabine, modèle 1837, était donc une arme de précision, mais sa portée était insuffisante. Vers 1840, le colonel d'artillerie Thierry fit adopter une nouvelle carabine qui fut appelée carabine de munition. Le poids de cette dernière carabine était plus grand que le poids de la carabine à la Poncharra. Aussi avait-on pu augmenter les dimensions de la chambre, ce qui permettait l'emploi d'une plus grande charge de poudre, d'où résultait aussi une portée beaucoup plus grande. L'arme était munie d'une hausse fixe et d'une hausse mobile qui correspondaient, à l'aide d'un curseur, aux distances de 300, 400, 500 et 550 mètres. Cette carabine fut donnée aux bataillons de chasseurs d'Orléans réorganisés en 1840 au camp de Saint-Omer.

Deux années après, en 1842, le lieutenant-colonel d'artillerie Thouvenin modifia le principe du chargement. Il proposa de faire reposer et de forcer le projectile dans l'âme sur une tige en acier, vissée par une extrémité pour la consolider, et dont l'axe coïncidait avec l'axe du canon. Le forcement, très-efficace, était obtenu par le choc de la baguette, qui faisait pénétrer la balle dans la tige. La charge de poudre se logeait dans la capacité comprise entre les parois de l'âme et la tige d'acier. Ces armes ont pris le nom de carabines à tige. Jusqu'alors la balle avait été sphérique ; or la résistance de l'air est une des causes qui in-

fluent le plus sur le ralentissement de la vitesse initiale. Si donc on veut diminuer cette influence, il faut déterminer la forme des projectiles de manière qu'ils puissent facilement vaincre cet effort. De même qu'on donne aux pendules une section convenable pour que, en oscillant, la résistance de l'air ait peu d'action sur leur mouvement ; de même qu'on donne aux navires une section spéciale qui leur permet de lutter contre la pression du milieu dans lequel ils se meuvent, on devait aussi calculer la section des balles de telle sorte, que la résistance de l'air fût atténuée, ce qui, comme conséquence immédiate, devait produire une augmentation dans la portée. Ainsi dans les carabines Delvigne et à la Poncharra, la forme aplatie de la balle qui donnait plus de justesse dans le tir, présentant une surface très-grande à l'action de l'air, était une cause de diminution de la portée. M. Minié, lieutenant de chasseurs à pied, fit adopter les balles cylindro-ogivales, dont la section était composée d'un cylindre terminé par une sorte de cône. Ces balles avaient déjà été expérimentées, mais toujours sans succès. Beaucoup de projectiles de l'artillerie possèdent maintenant cette même forme. La balle de la carabine Minié, car on a appelé ainsi la carabine Delvigne perfectionnée, était creuse à sa partie inférieure, de manière à bien emboîter la tige, ce qui constituait un excellent forcement. On a obtenu, en disposant convenablement les rayures, et en apportant encore à la forme de la balle quelques modifications que nous allons faire connaître, une arme dont la portée dépasse 1,300 mètres, et telle que, à 800 mètres, un tireur exercé peut mettre 25 balles sur 100 dans un panneau de 2 mètres de hauteur sur 6 mètres de largeur. Nous avons pu vérifier ces résultats dans des écoles de tir faites au polygone de Metz, à l'époque où nous suivions les cours de l'École d'application de l'artillerie et du génie.

On tire également avec cette carabine des balles-obus. Ces balles qui ressemblent beaucoup aux nouveaux projectiles de notre artillerie de campagne, sont creuses et remplies de poudre à l'intérieur. Une capsule fulminante est disposée à la partie antérieure, de telle sorte que, dès que la balle rencontre un obstacle un peu résistant, l'amorce prend feu, puis la charge de poudre enflammée fait éclater ces petits obus.

Mais, si les balles cylindro-ogivales avaient le grand avantage de pouvoir être tirées à une plus grande portée que les balles

sphériques, elles ne présentaient plus la même justesse de tir que ces dernières. Les écarts en dehors du plan de tir étaient très-sensibles. Il est facile de l'expliquer. Le solide allongé, qui constitue la nouvelle balle, possède toujours à sa sortie de la bouche à feu le mouvement de rotation qui se compose avec le mouvement de translation, sous l'action des différentes forces qui le sollicitent, d'où résulte le mouvement le long de la trajectoire. Pour que la résistance de l'air soit en chaque instant du mouvement rendue minima, il faut que la pointe du projectile soit toujours en avant, et que par conséquent en chacune de ses positions sur la trajectoire, elle reste tangente à cette courbe. C'est pour obtenir ce résultat que le capitaine Tamisier eut l'idée de pratiquer à la partie postérieure de la balle des cannelures circulaires de peu de profondeur, dont le but était de faire servir la résistance de l'air même à assurer la direction du projectile.

Pour assurer mieux encore le forcement du projectile, M. Minié imagina la balle à culot, dont le forcement d'ailleurs pouvait être assuré sans tige. Cette nouvelle balle reçoit à sa partie postérieure un petit culot en tôle, qui a la forme d'une calotte sphérique. Dès que la pression des gaz de la poudre commence à s'exercer, le culot tend à pénétrer dans le métal de la balle. Le plomb ainsi écarté, s'étend jusqu'aux parois de l'âme, et le forcement devient aussi complet que possible, puisque le vent est anéanti. On a fait, avec cette balle à culot, de nombreuses expériences, qui ont eu pour résultat de modifier le calibre de la balle et les dimensions du culot. En outre, dans ces expériences, on fut conduit à essayer une balle expansive, plus légère que la balle à culot, et se forçant par l'expansion même des gaz dans les armes rayées sans tige. On est parvenu ainsi à une balle évidée, du poids de 36 grammes, se tirant avec la charge de 5 grammes, et qui a été adoptée provisoirement pour les fusils de la garde impériale, modèle 1854.

Les excellents résultats obtenus avec les carabines à tige ont amené des essais analogues sur les fusils rayés, dans lesquels le forcement avait été obtenu jusqu'alors par la seule force expansive des gaz de la poudre. Les expériences de 1849 et 1850 sur ces fusils rayés ayant été très-satisfaisantes, les régiments de zouaves ont été armés de fusils à tige.

Dans ces dernières armes, de même que dans les carabines à tige, on peut faire usage de la balle à culot ou de la balle évidée. On

peut également faire usage de ces deux sortes de balles dans les carabines et fusils sans tige. Pourtant les écoles de tir, faites à Vincennes en 1855, ont démontré, en considérant les moyennes générales, que dans les armes sans tige, la balle à culot doit être préférée à la balle évidée.

La France n'a pas été le seul pays où l'on se soit préoccupé de perfectionner les armes portatives. L'Angleterre, qui pense, depuis quelques années, que sa non-intervention dans les affaires du continent est une preuve de sa puissance, a fait perfectionner néanmoins, et fait perfectionner encore l'armement de ses troupes. Les discussions récentes et nombreuses qui se sont élevées à la Chambre des communes et à la Chambre des lords, ont fait décider l'insuffisance de l'arme actuelle de l'infanterie, la carabine Enfield. La carabine Enfield, dont les Anglais ont été pourtant très-fiers, se charge avec une balle cylindro-conchoïdale, qui fait une demi-révolution dans les rayures en parcourant le canon. A sa partie inférieure, cette balle présente une cavité, dans laquelle on a engagé très-exactement un petit tampon en bois. Lorsque l'action produite par l'explosion de la charge commence à se faire sentir sur ce coin en bois, il presse et écarte le plomb de la balle, de manière à le faire pénétrer dans les rayures dont il prend l'empreinte. Comme on voit, ce mode de forcement est analogue à celui de la balle à culot. Mais les Anglais, abandonnant, avec raison, une arme qu'ils avaient trouvée eux-mêmes, laissant de côté leur amour-propre national d'inventeurs, viennent d'adopter les armes se chargeant par la culasse, qui ont eu récemment un si brillant succès en Allemagne. Les carabines Enfield sont en ce moment dans les arsenaux, où elles reçoivent cette modification : 150,000 carabines doivent être prêtes pour le mois de mars prochain, et 600,000 armes subiront la même transformation.

Une autre carabine, la carabine Whitworth, a eu aussi quelque retentissement chez nos voisins d'outre-Manche. Le canon de cette carabine est prismatique, à section hexagonale ; les arêtes et le prisme sont légèrement recourbés en hélice. La forme de la balle est donc aussi celle d'un prisme hexagonal. Le forcement reste toujours incomplet, et le tir de ces carabines n'a pas donné de résultats satisfaisants. Le seul avantage sérieux que présente cette nouvelle arme consiste dans l'emploi d'un métal résistant, tel

qu'un alliage de plomb et d'étain et même d'acier, pour la fabrication des balles.

III

Fusils se chargeant par la culasse. — Historique. — Description du fusil à aiguille prussien. — Avantages. — Inconvénients. — Perfectionnements. — Fusil Chassepot. — Expériences faites au camp de Châlons, 1866. — Résultats.

Nous venons d'indiquer comment, à la suite de longs efforts, on avait obtenu des armes douées d'une grande précision et d'un chargement assez commode, et on ne songeait certes pas en France à réformer l'armement des troupes, quand des événements inattendus sont venus montrer aux nations européennes qu'il était urgent pour elles de se remettre de nouveau à l'étude et de ne rien négliger pour perfectionner cet armement. La Prusse vient de donner le signal d'une révolution dans les armes à feu de l'infanterie. De même que les Romains qui, à l'époque de leur grandeur, s'empressaient d'adopter les armes étrangères et même celles de leurs ennemis, dès qu'ils leur avaient reconnu une supériorité sur les leurs, les Anglais, les Espagnols, etc., se hâtèrent d'imiter les Prussiens, en faisant transformer les armes actuelles en fusils à aiguille. Les Français ont fait mieux encore : ils ont inventé un fusil d'un nouveau système. Notre artillerie, la première, à combattu avec des canons rayés ; notre infanterie sera la première aussi à employer une arme nouvelle, qui ne le cédera en rien aux fusils à aiguille d'origine prussienne.

On pouvait encore justement reprocher aux carabines que nous avons décrites, la lenteur du chargement. Cette lenteur résulte de la position de la cheminée, à une des extrémités du canon où il faut placer la capsule, et de l'introduction de la cartouche par l'extrémité opposée, ce qui nécessite de tirer la baguette, de l'enfoncer dans le canon, de la retirer et de la remettre en place. Pour éviter ces pertes de temps, on a imaginé des armes se chargeant par la culasse. On désigne en général sous ce nom, les armes dans lesquelles la cartouche, au lieu d'être introduite par le haut du canon et conduite jusqu'au tonnerre à l'aide de la baguette, est placée immédiatement dans la position qu'elle doit occuper dans le tonnerre. La baguette devient alors inutile, et le chargement est beaucoup plus prompt.

Parmi les armes de chasse, les fusils Lefaucheux, Lepage et

autres, se chargent par la culasse, mais à la condition de briser l'arme, pour ainsi dire, pendant le chargement, et de la rendre inerte pour la lutte à la baïonnette. Or, en campagne, pendant le combat, on est fréquemment exposé à une attaque à l'improviste, et pour y résister, il faut être toujours prêt à faire usage du fusil, aussi bien comme arme à feu que comme arme d'hast. Le canon des armes de guerre, pendant le chargement, doit donc rester droit; on conçoit cependant qu'on puisse encore charger l'arme sans employer la baguette si le tonnerre s'ouvre, en restant parallèle à l'axe du canon, de manière à permettre l'introduction d'une cartouche spéciale. La fermeture doit être ensuite aussi hermétique que possible, pour empêcher la déperdition des gaz, et ne pas diminuer la force expansive de la charge. En outre, le mécanisme obturateur doit rester assez simple et assez résistant pour ne pas nécessiter des réparations, toujours trop nombreuses en campagne. L'invention du fusil à aiguille, aujourd'hui si célèbre, remonte déjà à un certain nombre d'années, et le chargement par la culasse n'a été en Prusse qu'une conséquence d'un nouveau procédé de transmission du feu à la charge de poudre, ainsi que le démontrent les documents suivants.

L'empereur Napoléon Ier avait reconnu et signalé les inconvénients du chargement du fusil ordinaire, et prévu quels pouvaient être les avantages des armes se chargeant par la culasse. Il confia ses idées à un armurier de Paris, nommé Pauly, en l'année 1809, et lui donna ordre d'exécuter son projet, de l'étudier et de le perfectionner. Les travaux de Pauly n'eurent pas de succès : une commission militaire dut rejeter l'emploi de l'arme qu'il avait construite, comme trop compliquée pour une arme de guerre. Pauly n'avait pas compris, en effet, que pour rendre applicable une arme se chargeant par la culasse, il fallait d'abord modifier la cartouche et l'amorce, les rendre solidaires au lieu de les laisser indépendantes. L'empereur Napoléon Ier, enivré de ses succès en Europe, oublia bientôt ses premiers projets, et les essais qu'il avait ordonnés. Dans l'atelier même de Pauly, qui était non-seulement armurier, mais encore constructeur de machines, travaillait un ouvrier allemand, Jean Nicolas Dreyse, fils d'un maître serrurier de Sommerda, près d'Erfurth. Ce jeune ouvrier, intelligent et instruit, après avoir sérieusement travaillé

et observé chez son patron, retourna dans son pays, et entra chez son père pour diriger les ateliers. Plus tard il s'occupa de l'application de procédés métallurgiques nouveaux, et enfin il établit une importante capsulerie. M. Dreyse n'avait pas perdu de vue la tentative malheureuse de Pauly sur les armes se chargeant par la culasse. Il avait de suite saisi les avantages d'un tel système. Il en avait compris les difficultés, et il s'employa dès lors activement à les surmonter.

Le premier modèle de fusil à aiguille fut fabriqué par M. Dreyse en 1827. Il s'agissait tout d'abord, comme nous venons de le dire, de changer le mode de communication du feu à la charge de poudre. Dans ce but, la cartouche était remplie à une de ses extrémités de poudre fulminante, que le choc d'une aiguille enflammait. Pendant longtemps on a fait en Prusse un grand mystère de la composition de cette amorce et de la disposition de la cartouche. La capsulerie que M. Dreyse dirigeait lui fut d'ailleurs fort utile pour la recherche de la meilleure matière fulminante et pour tous les essais qu'il jugea nécessaire d'entreprendre. Ce premier fusil se chargeait par la bouche : il n'était pas encore question en Prusse du chargement par la culasse, mais la cartouche imaginée par M. Dreyse devait fatalement le conduire jusqu'à l'invention de l'arme aujourd'hui en usage en Prusse. L'année suivante, en effet, l'inventeur supprima la baguette, dont l'emploi pouvait être dangereux : le projectile prit alors un vent considérable et le forcement ne fut plus que très-incomplet. Malgré ces imperfections, en 1829, M. Dreyse présenta son fusil ainsi modifié, à Weimar, au roi Frédéric-Guillaume IV. L'inventeur reçut du jeune roi beaucoup d'encouragements et l'autorisation de poursuivre les expériences qu'il avait commencées dans cette voie. Après avoir imaginé un fusil dit à grappe de raisin, puis le fusil à aiguille, l'ancien apprenti de Pauly reconnut la nécessité du chargement par la culasse, comme corollaire de son système de percussion à aiguille. Le deuxième perfectionnement compléta par conséquent ce que le premier avait laissé d'imparfait. On conçoit en effet que, après avoir fait feu, si le tireur n'avait pas le soin de ramener l'aiguille à sa position primitive, il courait de graves dangers en chargeant de nouveau : la baguette en refoulant la cartouche jusqu'au tonnerre mettait violemment l'aiguille en contact avec l'amorce et pouvait déterminer son explosion.

Dans le courant de l'année 1836, M. Dreyse avait fait exécuter une carabine se chargeant par la culasse, dans laquelle le forcement de la balle s'effectuait facilement, le chargement restant simple et la fermeture assez hermétique au moment du tir ; mais le diamètre était trop grand, et par conséquent il fallait avoir recours à des balles d'un trop fort calibre et d'un trop grand poids. Les premières expériences sur cette carabine datent de 1837 ; elles ont donné d'assez bons résultats, comme solidité de l'obturateur et comme justesse de tir. En moins de deux années les dernières modifications étaient apportées à cette arme, et le roi de Prusse commandait, en 1841, soixante mille fusils à aiguille à la manufacture d'armes de Sommerda. A l'occasion de cette commande, nous avons pu lire le document suivant : « Le fusil à aiguille constitue dans les circonstances actuelles une arme de guerre propre à l'armement général ou particulier des troupes. En raison des résultats favorables auxquels les expériences donnèrent lieu, il convient de considérer cette invention comme un don de la Providence pour la prospérité de l'État. On espère garder le secret sur lequel repose ce système, jusqu'au jour où de grands succès, obtenus à la guerre, permettront de faire de ce fusil une arme nationale ! » La Prusse prévoyait-elle déjà la victoire de Sadowa ! Dans la campagne du Schleswig-Holstein, les résultats fournis par le fusil à aiguille avaient été des plus satisfaisants, et l'Autriche, traînée à cette guerre malgré elle, aveuglée par l'outrecuidance du parti militaire, n'avait pas su reconnaître et apprécier les avantages des armes de ses alliés. Les balles prussiennes, tirées en si grand nombre, mais avec si peu de vaillance, sur les infortunés Danois, ont rebondi, peu de temps après, plus nombreuses encore sur les uniformes autrichiens.

Le fusil à aiguille prussien, appelé le *Zündnadelgewehr*, celui qui, vers le milieu de cette année, a porté un si épouvantable désordre dans les rangs de l'armée autrichienne, se compose essentiellement du canon et de la culasse mobile. Le canon est en acier fondu, métal qui, à cause de sa très-grande résistance, permet de diminuer autant que possible l'épaisseur des parois de l'âme. L'âme se relie à un grand cylindre qui compose la culasse mobile, au moyen d'une vis à dix filets. Au-dessus de cette vis, le canon offre huit pans. Au delà, et jusqu'à la bouche, le canon reste conique.

L'âme se termine par le logement de la cartouche, auquel elle se relie par un raccordement conique, le diamètre de la chambre étant plus grand que celui de l'âme. Ce raccordement doit arrêter et presser le sabot de la cartouche afin d'augmenter le forcement de la balle et d'assurer la justesse du tir. Les rayures, à l'intérieur, n'offrent rien de remarquable; elles sont comme celles de toutes les armes rayées.

Le grand cylindre qui suit le logement de la cartouche, et dans lequel se trouvent logés les mécanismes de l'aiguille et de l'obturateur à bouton, est la partie la plus intéressante de l'arme. Que le lecteur veuille bien nous suivre dans le chargement de ce fusil; nous ne doutons pas qu'il n'en comprenne mieux ainsi le mécanisme. Le soldat, tenant l'arme dans la main gauche, fait effort avec le pouce de la main droite sur le bec du grand ressort, de manière à faire reculer un ressort à boudin auquel est fixée l'aiguille qui doit enflammer l'amorce; l'aiguille, dans cette position, ne peut pas agir sur l'amorce de la cartouche. Le tireur frappe ensuite avec la paume de la main sur le bouton de l'obturateur de manière à le faire tourner, saisit le bouton abaissé et fait reculer l'obturateur jusqu'au point d'arrêt. Le mouvement de recul de cet obturateur est calculé de telle sorte qu'il découvre une portion suffisante du tonnerre pour qu'on puisse facilement y introduire la cartouche. On introduit alors cette cartouche en l'inclinant, et en appuyant ensuite fortement avec le pouce pour bien la placer dans son logement. La cartouche en place, le fusilier imprime à l'obturateur avec le pouce et le premier doigt de la main droite un double mouvement en sens inverse des deux premiers, c'est-à-dire qu'il fait revenir le bouton sur lui-même, et le tourne ensuite de manière à le replacer dans sa position primitive. Enfin pour bien s'assurer que l'obturateur est en place, le tireur doit avoir encore le soin de frapper un coup sec sur le bouton avec le pouce de la main droite. Maintenant il vise, presse sur la détente et le coup part.

Mais, pour bien saisir ce qui se passe dans ce dernier mouvement, il est indispensable de connaître la disposition de la cartouche et du mécanisme de l'aiguille. La cartouche comprend, réunis, la balle, le sabot, la charge de poudre et l'amorce. La balle est en plomb, et de forme ovoïde, de manière qu'elle puisse facilement vaincre la résistance de l'air. Elle s'engage exactement dans le

sabot évidé. L'amorce est placée à l'arrière de ce sabot, de telle sorte que la combustion de la poudre s'effectue d'avant en arrière. On a observé que la combustion était ainsi plus parfaite, l'action des gaz plus complète que lorsque la poudre brûlait en sens opposé. L'action des gaz de la poudre s'exerce d'abord sur le sabot, et se transmet ensuite à la balle, que le sabot accompagne dans son mouvement dans l'âme, en la forçant dans les rayures et les nettoyant par son passage même. La charge de poudre, par coup, pèse $4^{gr},8$, son dosage réglementaire est de 74 parties de salpêtre, 10 de soufre et 16 de charbon.

L'amorce, composée de poudre fulminante, prend feu par le choc de l'aiguille. Il faut, par conséquent, que l'aiguille retenue en arrière par le ressort, traverse la charge de poudre, et que sa pointe rencontre la poudre fulminante lorsque le ressort débandé la ramène en avant au moment où le tireur appuie sur la détente. L'aiguille est contenue dans un tube cylindrique que les gaz produits par la combustion envahissent toujours, quoi qu'on ait muni l'extrémité d'une rondelle en cuir. Dans son mouvement, l'aiguille, qui est en acier, est guidée par un canal toujours rempli de suif, afin de supprimer le vent, et d'empêcher la fuite des gaz. Malgré toutes les précautions apportées à la confection de l'aiguille, c'est toujours la partie du mécanisme qui s'use le plus rapidement ; aussi chaque soldat emporte-t-il en campagne un certain nombre d'aiguilles de rechange.

Nous complétons cette description par les renseignements numériques suivants :

Poids du fusil à aiguille prussien	$4^{k},980$
— de la baïonnette	350
— total du fusil à aiguille	$5^{k},330$
Longueur, y compris la baïonnette	$1^{m},95$
— sans la baïonnette	$1^{m},43$
Calibre normal de l'âme	$15^{mm},43$
— de la balle	$13^{mm},6$
Vent	1,1
Poids de la balle	31^{gr}
— de la charge de poudre	$4^{gr},8$
— du sabot et de l'amorce	3^{gr}
— de l'enveloppe de la cartouche	$1^{gr},9$
— total de la cartouche	$40^{gr},7$

On reproche aux fusils se chargeant par la culasse de devenir promptement inutiles. Cela pourrait être à craindre, surtout avec une troupe comme l'infanterie française, si on ne l'avait à l'avance bien prévenue et exercée. Il est possible en effet, avec le Zündnadelgewehr, de donner à chaque fantassin 120 cartouches ; en admettant qu'il en brûle 3 à la minute, son approvisionnement ne lui durerait que 40 minutes, et si ces munitions avaient été épuisées à une trop grande distance en produisant peu ou pas d'effet sur les bataillons ennemis, la position des assaillants pourrait être critique, exposés qu'ils seraient alors à une fusillade qui aurait été moins précipitée et plus rapprochée. La vitesse de 3 coups à la minute est une vitesse moyenne. On peut tirer jusqu'à 5 coups à la minute avec le fusil à aiguille prussien, et même plus, puisqu'un tireur expérimenté a obtenu jusqu'à 23 coups en 3 minutes. Cette vitesse est triple environ de celle de l'ancien fusil, 4 à 5 coups par minute contre 1,5. Mais cette rapidité du tir ne peut être longtemps soutenue, et nous croyons prendre une bonne moyenne en adoptant 3 coups à la minute. La vitesse du tir a donc été incontestablement rendue plus grande.

Le fusil à aiguille prussien est loin d'être un progrès sur les armes ordinaires comme justesse de tir et comme portée. Le but en blanc est seulement à 190 mètres, et l'arme conserve une assez grande précision jusqu'à 300 mètres, mais à 400 mètres le nombre de balles mises dans la cible diminue rapidement, et vers 5 ou 600 mètres on ne peut plus compter que sur un tir très-imparfait. La cause de cette inexactitude du tir est certainement dans la fermeture incomplète de l'obturateur. Cette fermeture, qui devrait être hermétique, l'est si peu, que les gaz qui s'en échappent empêchent fréquemment de viser, et que souvent les fusiliers en sont réduits à tirer leur fusil appuyé contre la hanche, au lieu d'épauler. En outre, l'arme s'encrasse très-vite, et, pour la maintenir en bon état, il faudrait la laver après 50 coups tirés, ce qui n'est pas toujours possible en campagne.

Les officiers généraux prussiens ont indiqué, dans les ordonnances royales sur les exercices des troupes, les règles suivantes pour tirer du nouveau fusil tout l'avantage possible : 1° attirer l'ennemi à une portée convenable du fusil à aiguille ; 2° l'amener en rase campagne, quoique le fusil à aiguille conserve même en terrain accidenté une grande supériorité sur les autres fusils, à

cause de la possibilité de le charger dans toutes les positions; 3° pouvoir déployer à un moment quelconque de l'action un large front de bataille. Tout le monde sait, et l'Autriche surtout doit savoir, combien ces prescriptions ont été exactement suivies pendant la dernière campagne, dont la Bohême et la Moravie ont été les principaux théâtres.

Pendant ces importants travaux exécutés en Prusse, plusieurs inventeurs avaient proposé en France des fusils nouveaux; le *Bulletin de la Société d'encouragement* (mai 1834) contient notamment un rapport sur le fusil Robert. Cette arme se chargeait par la culasse à l'aide d'un mécanisme, un peu compliqué peut-être, mais qui ne nécessitait pourtant pas une manœuvre difficile. Il suffisait en effet d'élever et d'abaisser un levier pour ouvrir et refermer l'intérieur du tonnerre. La cartouche comportait avec elle l'amorce composée de poudre fulminante, qui prenait feu par le choc d'un marteau. Le maniement de ce fusil était simple, prompt, mais il avait le grave inconvénient, comme le fusil à aiguille prussien, de laisser échapper les gaz de la combustion. On était pourtant parvenu à diminuer les effets de cette déperdition en imaginant des cartouches spéciales, mais compliquées et difficiles par suite à introduire dans l'armement des troupes. Le colonel d'artillerie Treuille de Beaulieu, à qui on est redevable du nouveau matériel d'artillerie (les canons rayés), avait imaginé en 1853 un fusil se chargeant par la culasse, dont sont armés aujourd'hui les cent-gardes. M. Gastine Renette, MM. Manceau et Vieillard sont aussi inventeurs de fusils dont le chargement est basé sur le même principe. Enfin, le fusil Chassepot, expérimenté depuis plus de dix ans, a donné dans les essais les meilleurs résultats; aussi est-il adopté aujourd'hui pour l'armement de l'infanterie française. La culasse de ce fusil est ouverte à l'aide d'un bouton semblable à celui du fusil à aiguille prussien. La cartouche est alors introduite dans l'âme, et parfaitement fixée dans le canon à l'aide de l'obturateur, dont la disposition ingénieuse donne une fermeture très-hermétique qui empêche la déperdition des gaz à l'arrière, si gênante dans l'arme prussienne.

Le fusil à aiguille de M. Dreyse n'est pas facile à armer : le bouton du ressort qu'il faut tirer n'est pas toujours commode à saisir et se meut difficilement dès que, après quelques coups le

ressort est encrassé. M. Chassepot, au contraire, a imaginé, pour simplifier cette opération, un chien dont la crête porte un quadrillage sur lequel la pression est toujours facile à exercer. Par suite de cette pression, le chien recule dans la direction de l'axe du fusil pour bander le ressort. Le ressort part lorsqu'on presse sur la détente, et entraîne dans son mouvement l'aiguille qui en est indépendante. Cette aiguille, jusqu'au moment de faire feu, reste enveloppée dans un cylindre en fer qui la protége. Dès que le tireur a pressé la détente, l'aiguille abandonne son logement, traverse la poudre contenue dans la cartouche, et vient frapper l'amorce. Comme principe, cette disposition est celle du fusil à aiguille prussien, mais M. Chassepot a su beaucoup mieux combiner les différentes pièces. Aussi les résultats obtenus avec cette dernière arme sont-ils bien supérieurs à ceux obtenus avec le Zündnadelgewehr. La précision du tir et la portée aux grandes distances ont été conservées. La portée du but en blanc du fusil Chassepot est de 500 mètres. Jusqu'à ce point la trajectoire est très-tendue, de manière qu'il est possible de viser exactement à une distance moindre. A cette portée, un tireur expérimenté met toutes les balles dans la cible. Ce fusil, à 1,000 mètres, tire très-exactement, puisque le nombre de balles logées dans les cibles est de 50 pour 100. En augmentant l'angle du tir, on peut atteindre jusqu'à 2,000 mètres, éloignement auquel il est déjà presque impossible de viser. — Enfin, on peut tirer deux cent cinquante coups avant qu'il soit nécessaire de nettoyer le canon, et on a tiré mille et même douze cents coups sans aucun accident survenu aux différentes pièces qui constituent l'arme. Le canon du fusil Chassepot résiste comme le canon des fusils ordinaires, c'est-à-dire qu'on peut tirer en moyenne vingt-cinq mille coups avant qu'il ne soit assez détérioré pour être mis hors de service. Les expériences faites au camp de Châlons dans le courant de cette année ont parfaitement établi tous les nombres précédents et démontré que le fusil français Chassepot était une arme excellente pour faire campagne. Tous les fusils français doivent être ainsi transformés dans un délai très-rapproché ; mais il s'agit pour ce changement d'une dépense qui ne s'élèvera pas à moins de 100 millions de francs !

L'ancien ouvrier de Pauly n'est plus jeune aujourd'hui, c'est un vieillard fier à juste titre de son invention. Le correspondant d'un journal anglais lui faisait récemment une visite, et le complimen-

tait des succès de sa découverte, en lui laissant entrevoir que très-probablement on améliorerait encore son fusil. « C'est à quoi je travaille moi-même chaque jour, répondit-il, mais je crains d'être bientôt surpassé par les armuriers de France. » Cette crainte est maintenant une réalité, et tous les éloges reviennent au contrôleur d'armes qui, par son mérite, par sa persévérance, a su faire placer au premier rang l'arme de guerre qui porte son nom : le fusil Chassepot [1].

P. Schwaeblé.

[1] Bien que nous n'ayons encore que des renseignements incomplets sur une nouvelle arme que vient d'adopter le gouvernement suisse, nous devons signaler au lecteur le *fusil Winchester*. M. Winchester, gouverneur du Connecticut, commissaire américain à l'exposition de 1867, a construit une arme qui permet, assure-t-on, de tirer quinze coups en quinze secondes... Quinze cartouches emmagasinées à l'avance dans un tube parallèle au canon et placé au-dessus passent successivement dans le canon par un mécanisme si simple qu'un tireur inexpérimenté peut facilement tirer les quinze coups ainsi préparés sans cesser d'épauler. Tous les États européens envoient, en ce moment même, des délégués auprès de la confédération helvétique pour étudier ce nouvel engin qui a déjà fait ses preuves pendant la grande guerre américaine.

PHYSIQUE APPLIQUÉE

I

APPAREILS INDICATEURS

DES GAZ EXPLOSIFS ET DÉLÉTÈRES DE M. G. F. ANSELL [1]

Les travaux de M. Graham sur la dialyse et l'endosmose des gaz, déjà connus des lecteurs de l'*Annuaire* [2], viennent de trouver une admirable application, certainement destinée à exercer la plus salutaire influence dans l'industrie minière. M. G. F. Ansell a récemment imaginé des appareils qui permettent de reconnaître la présence des plus petites quantités de gaz délétères ou explosifs, dans une masse d'air quelconque, et on comprend par suite tous les services qu'ils sont appelés à rendre aux mineurs, trop souvent victimes des explosions causées par le feu grisou ou des asphyxies dues aux dégagements d'acide carbonique.

On sait d'après les expériences de M. Graham, que lorsque deux gaz sont séparés par une membrane ou cloison poreuse, ils tendent à se mélanger par filtration ; mais la vitesse avec laquelle ce mouvement s'opère est inégale pour chaque gaz, et elle paraît être inversement proportionnelle aux racines carrées de leurs densités. Il résulte de cette loi que si deux gaz de différentes densités sont séparés par une cloison poreuse, ils se mélangeront en traversant cette cloison ; mais le gaz le moins dense pénétrera bien plus abondamment dans le milieu occupé par le deuxième gaz plus dense, que celui-ci ne s'en échappera. Il en résultera donc dans ce milieu une augmentation de pression.

[1] Ces curieux appareils sont construits par M. Salleron, qui a bien voulu les faire fonctionner sous nos yeux et nous permettre d'en constater les effets vraiment merveilleux.

[2] Voir *Annuaire scientifique*, t. IV, 1865, p. 65.

Tel est le principe sur lequel reposent les nouveaux appareils.

Un premier indicateur se compose d'un baromètre métallique, enfermé dans une boîte cylindrique en cuivre dont le fond est formé par une paroi de terre poreuse. Si le système est placé dans un air contenant de l'hydrogène protocarboné ou tout autre gaz moins dense que l'air, ce gaz filtrera à travers la cloison poreuse, pénétrera dans la boîte, et la quantité qui y entrera sera plus grande que celle de l'air qui s'en échappera; il y aura donc augmentation de pression dans la boîte barométrique; le tube métallique intérieur subira l'action de cette pression et fera agir les aiguilles auxquelles il est adapté. Un cadran permet de compter les déviations, qui peuvent faire approximativement connaître la proportion du gaz étranger contenu dans l'air. Ainsi :

1	pour 100 d'hydrogène	protocarboné	produit une déviation de	$0^{mm},2154$
3	—	—	—	$0^{mm},7162$
5	—	—	—	$1^{mm},5124$
15	—	—	—	$5^{mm},5188$
50	—	—	—	$20^{mm},3120$
100	—	—	—	$42^{mm},6172$

Si le baromètre est placé dans un air contenant de l'acide carbonique ou tout autre gaz, plus dense que l air, la déviation des aiguilles s'effectuera en sens inverse. En effet, l'air contenu dans la boîte et l'acide carbonique extérieur se mélangeront en filtrant à travers la paroi poreuse, mais la quantité d'air qui sortira sera plus grande que celle d'acide carbonique qui entrera ; il y aura diminution de pression, et par suite déviation des aiguilles du baromètre métallique.

On conçoit qu'un semblable système placé dans les galeries d'une houillère, avertisse les mineurs de la présence du feu grisou, de l'hydrogène protocarboné ; mais ici, il est nécessaire d'observer un cadran pour être prévenu du danger ; il y a là un inconvénient auquel a paré M. Ansell en imaginant un second appareil plus curieux encore.

Il se compose d'un petit tube en U, dont l'une des branches est terminée par un entonnoir fermé par une cloison de terre poreuse. Le tube en U contient du mercure, et dans les circonstances ordinaires, quand l'appareil plein d'air est placé dans de l'air pur, le niveau dans les deux branches est situé sur le même

plan horizontal. Mais il n'en est plus de même quand cet air est vicié par de l'hydrogène bicarboné : ce gaz filtrera à travers la paroi de terre, pénétrera dans l'entonnoir, augmentera la pression et refoulera la colonne mercurielle en la faisant remonter dans l'autre branche du tube en U. En s'élevant ainsi dans la branche libre, le mercure établit un contact entre deux fils de platine qui aboutissent aux deux pôles d'une pile électrique : le courant se trouve établi. Si on interpose une sonnerie électrique dans le circuit, on aura un signal qui pourra se transmettre à toute distance.

En définitive l'appareil est placé dans la galerie d'une mine, et il est en communication avec une pile électrique ; aussitôt que les gaz explosifs se dégagent des voûtes souterraines, une sonnerie, qui peut être placée en dehors de la mine, fonctionne aussitôt et annonce que le danger est imminent.

Dans le cas ou l'on veut reconnaître la présence d'acide carbonique ou d'un gaz plus dense que l'air, l'appareil est disposé différement : au lieu d'une augmentation de pression dans l'entonnoir, on a une diminution de pression ; le mercure est aspiré au lieu d'être refoulé ; c'est donc dans l'entonnoir même qu'aboutissent les deux pôles de la pile[1].

GASTON TISSANDIER.

II

REVUE PHOTOGRAPHIQUE

Nouveau procédé de tirage des épreuves positives, à l'aide des sels d'urane : la wothlytypie. — Il y a près de deux ans qu'un Américain, M. Wothly, intriguait le monde photographique par l'annonce d'un procédé qu'il disait tout simplement *merveilleux*. — On sait aujourd'hui ce qu'il faut penser de cette grande découverte. L'inventeur américain s'est inspiré de réaction de la lu-

[1] Le premier appareil (boîte barométrique) se vend chez M. Salleron, au prix de 100 francs; le second appareil, pile et sonnerie comprise, au prix de 75 francs.

mière sur les sels d'urane, bien connue des physiciens, mais non appliquée encore en photographie, et il a su en tirer très-bon parti pour modifier la méthode de tirage des positifs aux sels d'argent. Quelque minime que soit la quantité d'argent incorporée dans l'épreuve, celle-ci n'en est pas moins obtenue par la réduction d'un sel double d'uranium et d'argent par la lumière.

Ce procédé de Wothly est réellement intéressant, car il simplifie la méthode usuelle et il est économique tout en fournissant des épreuves qui ne laissent rien à désirer au point de vue artistique; nous décrirons les manipulations qu'exige ce procédé, telles que nous les avons vu effectuer par M. Mangel du Mesnil, acquéreur du procédé pour la France.

Quelle que soit la préparation du papier, qu'il soit mat, albuminé ou collodionné, on l'immerge dans le bain préparé avec le sel d'urane additionné d'azotate d'argent dans le rapport de 1 à 0,06; ainsi sensibilisé, le papier est soumis à l'action de la lumière sous le négatif; on peut admettre que la rapidité d'insolation est triplée. Au sortir du châssis, l'épreuve est *jaune-pâle*, et elle inspire, d'abord, une idée peu avantageuse du procédé; mais, en moins d'une heure, elle acquiert l'aspect le plus satisfaisant. Les manipulations, bien qu'on ait dit, ne présentent aucunes difficultés sérieuses. — L'épreuve, sortie du châssis, est immergée dans un bain d'eau acidulée par l'acide acétique à 2 pour 1000; elle y séjourne pendant six à huit minutes environ; le but de ce lavage est le dégorgement de l'excès d'azotate d'urane que le papier peut retenir après l'insolation. Pour extraire l'acide acétique et les sels, on procède immédiatement ensuite à un lavage de deux ou trois minutes à l'aide d'une éponge fine. Cette dernière opération est tellement importante que, si elle était imparfaite, l'épreuve jaunirait très-rapidement. On procède enfin au virage dans un bain au chlorure d'or additionné de potasse. L'épreuve, qui est *jaune* en entrant dans le bain, prend, en quelques secondes, une teinte brune; il faut avoir acquis quelque habitude pour la retirer à temps, car elle doit être jetée dans le bain d'hypo-sulfite de soude ou de sulfocyanure d'ammonium avant d'avoir atteint le degré de force qu'on désire lui donner. Il se produit dans le bain de fixage une réaction inverse de celle qu'on observe sur les épreuves purement argentiques : pour celles-ci, en effet, il faut *tirer* plus fort que la *teinte finale*, car l'inten-

sité diminue dans le bain de fixage. Quand on emploie le sel double d'uranium et d'argent, c'est le contraire qui a lieu ; après un dernier lavage, l'épreuve est séchée, puis livrée aux opérations finales, telles que cylindrage, vernis, etc.

Considérée à cet état de simplicité, la méthode positive dite *Wothlytypie* est facile à mettre en pratique, peu coûteuse, et surtout extrêmement rapide ; les épreuves présentent au reste un aspect des plus satisfaisants.

La photographie coloriée. — Reproduire les objets avec leurs couleurs naturelles doit rester le but de la photographie ; quelques années cependant se sont écoulées sans qu'on eût à enregistrer de nouvelles recherches dans cette voie difficile où quelques pas à peine ont été faits. Depuis les travaux de M. Becquerel, depuis ceux de M. Niepce de Saint-Victor, on n'avait eu aucune tentative nouvelle à signaler quand parurent récemment les mémoires de M. Poitevin, dont les travaux importants sont déjà connus des lecteurs de l'*Annuaire*.

M. Edmond Becquerel était parvenu, dès 1848, à indiquer le mode de formation du chlorure d'argent capable de reproduire les couleurs du spectre solaire sur plaque daguerrienne. M. Poitevin, voulant appliquer cette découverte à la photographie, chercha à obtenir ce même chlorure sur papier ; mais dans ces nouvelles conditions la sensibilité photogénique était moindre, il fallait parvenir à l'exalter. De là, de nombreuses recherches pour arriver à connaître l'agent qui, tout en accélérant convenablement l'action de la lumière, conserverait au chlorure son caractère de sensibilité polychrome. Fait bizarre, les corps réducteurs, c'est-à-dire ceux qui absorbent le chlore, en s'y combinant, n'ont rien produit ; non plus que ceux qui fournissent soit de l'oxygène, soit du chlore. Les bichromates alcalins, l'acide chromique, l'azotate d'urane, donnent au contraire d'excellents résultats. En résumé, le papier enduit du sel d'argent en question se colore très-lentement et très-incomplétement lorsqu'on l'insole sous l'écran nuancé ; tandis que son impressionnabilité est singulièrement activée lorsqu'on le recouvre préalablement d'une solution d'un bichromate alcalin : il devient alors blanc dans la lumière blanche, et il prend la nuance de l'écran qui tamise les rayons solaires.

[1] Voy. *Annuaire* de 1862, p. 180.

M. Poitevin a donc signalé le premier l'action simultanée des sels oxygénés et de la lumière sur le chlorure d'argent impressionnable par les divers rayons du spectre solaire, et il a fait connaître le procédé à l'aide duquel on peut reproduire ces premiers essais.

Du papier photographique étant préalablement recouvert d'une couche de chlorure d'argent violet, est couvert d'un liquide formé d'un volume de dissolution saturée de bichromate de potasse, d'un volume de dissolution saturée de sulfate de cuivre, et d'un volume de dissolution à 5 pour 100 de chlorure de potassium : le papier, ainsi préparé, est abandonné à la dissication spontanée, à l'abri de la lumière ; il se conserve sensible pendant plusieurs jours. Selon les idées de l'auteur, le bichromate alcalin est l'agent essentiel : le sulfate de cuivre facilite la réaction, et le rôle du chlorure de potassium est de conserver les blancs. La durée de l'insolation est de cinq à dix minutes à travers les peintures sur verre ; elle dépend naturellement du degré de transparence des clichés.

M. Poitevin n'obtient, pourtant, très-nettement que les couleurs rouge, jaune et orangé ; sa méthode n'est pas aussi certaine pour les rayons bleu, violet et extra-violet : en outre, ces couleurs ne se conservent pas à la lumière.

On le voit, le problème n'est pas encore résolu, puisque l'image obtenue est fugitive, mais il faut reconnaître que M. Poitevin a ajouté un fait important à nos connaissances sur cette question difficile.

Épreuves positives au nitrate d'argent. — Si on soumet rapidement à l'action de la lumière une feuille de papier imprégnée d'une dissolution à 10 pour 100 d'azotate d'argent, aucune image ne se produit instantanément, mais si on plonge la feuille dans un bain de proto-sulfate de fer, ou d'acide gallique, ou de toute autre réducteur, l'image apparaît aussitôt. Le réducteur combine l'action déterminée par le choc lumineux. Telle est l'expérience originaire de la photographie sur papier ; elle est due à Talbot. Si on a abandonné le tirage des positifs par cette méthode si simple, pour recourir au procédé bien plus compliqué qui fait usage du chlorure d'argent, c'est que la première présentait évidemment quelques défauts ; et en effet, on n'obtenait guère avec le nitrate d'argent que des tons gris au lieu de tons noirs. Les épreuves au nitrate d'argent sont en quelque sorte imprégnées

« dans la pâte du papier, » et cela, par cette raison que, l'action de la lumière s'effectuant sans coloration, les parties les plus vigoureuses sont toujours perméables aux rayons lumineux, et occasionnent un *éparpillement* de la lumière, qui diminue l'intensité des noirs.

M. A. Gaudin a cependant voulu ressusciter cette méthode primitive ; il espérait modifier heureusement la nature de l'effet produit, en ne déposant le sel d'argent qu'à la surface du papier. Il est ainsi parvenu à préparer, en pleine lumière, des feuilles beaucoup plus sensibles que le papier salé albuminé. Le nitrate d'argent employé pour sensibiliser le papier fortement encollé, doit être légèrement acidulé par l'acide nitrique. Il est déposé à l'aide d'un blaireau fin à la surface du papier, on sèche, et dix secondes suffisent pour le tirage. L'image se montre alors, quelquefois en traits déliés d'un jaune-rougeâtre qui, dans l'espace de quelques minutes, atteignent une vigueur comparable à celle des gravures. Mais sans attendre ce résultat, on immerge la feuille impressionnée dans le bain révélateur, tout simplement composé d'acétate de protoxyde de fer, légèrement additionné de nitrate d'argent acide, pour monter le ton noir de l'épreuve. Il s'effectue, dans ce bain, un véritable *virement* à l'argent qui a pour effet d'oxyder l'acétate de fer et de le rendre inerte. Le fixage s'effectue à l'eau, et naturellement il n'y a pas lieu de virer les épreuves. On le voit, ce n'est pas sans raison que nous disons que la *Talbotyne* peut ressusciter.

Photographie céleste. — La photographie scientifique a été couronnée par l'Académie des sciences en la personne de M. Warren de la Rue. Il ne s'agissait pas, il est vrai, de la photographie en elle-même, mais de ses applications aux sciences physiques. L'Académie, à l'occasion du prix *Lalande*, s'est souvenue des remarquables travaux de M. Warren de la Rue ; et, faisant abstraction de tout esprit de nationalité, comme il est du devoir de tout corps scientifique qui respecte son mandat, elle a décerné le prix au compétiteur d'outre-mer, qui l'avait vaillament gagné. « Il y a dix-huit ans, dit M. Laugier dans son rapport, que M. Warren de la Rue a établi son *observatoire privé* à Crawford, près de Londres ; et, depuis quinze ans environ il s'est spécialement livré à la *photographie céleste.* » L'Académie des sciences a dû regretter de n'avoir pas trouvé de compétiteur au sein de l'Observatoire de

Paris ; les épreuves de M. Warren de la Rue, couronnées également à l'exposition de Londres où elles fixaient l'attention, démontraient le rôle pratique que l'astronomie devait attribuer à la photographie ! En 1860, M. Warren de la Rue prit, en Espagne, une série d'épreuves avant, pendant et après la disparition totale du soleil. Des mesures, effectuées sur ces épreuves à l'aide d'un micromètre spécial, furent soumises au calcul, et la discussion mathématique montra que les changements angulaires des proéminences lumineuses, par rapport à la lune, s'accordent avec l'hypothèse de leur adhérence au soleil. La comparaison des photographies de l'éclipse obtenues à Rivabellosa et au Desierto de las Palmas prouva l'identité des proéminences observées aux deux stations. Il faut ajouter que depuis 1863 l'*appareil photographique de Kew* fonctionne régulièrement, et que les épreuves quotidiennes sont relevées et discutées par l'auteur.

Levé des plans par voie photographique. — L'application de la photographie au levé des plans a fait cette année un progrès remarquable, M. A. Chevallier a construit un appareil automatique qui, une fois *dressé*, inscrit lui-même sur le plan les divers points que l'objectif embrasse sur le terrain.

L'objectif, en tout semblable à ceux des chambres noires ordinaires est, dressé verticalement sur un plateau circulaire qu'un rouage d'horlogerie entraîne d'un mouvement régulier dans le plan horizontal : on dirige l'objectif vers les points saillants de l'horizon, et les images des objets perçus sont rejetées à 90 degrés sur le plan horizontal par un prisme à réflexion totale. L'écran récepteur est une glace sensibilisée au collodion sec, elle est fixe et vigoureusement centrée dans l'intérieur du disque obturateur. L'appareil de M. Chevallier, tel que le construit M. J. Duboscq est un véritable *graphomètre photographique* : son avantage essentiel est de supprimer toutes les erreurs de lecture d'angles, si fréquentes par les méthodes usuelles.

Photographie magique. — Il aut s'y résigner, la chimie pénètre dans les jouets, nous avons eu les serpents de Pharaon, aujourd'hui nous arrivons à la photographie magique. Une feuille de papier d'une éclatante blancheur est recouverte d'un papier buvard sur lequel on projette un peu d'eau. Aussitôt, apparaît une photographie parfaitement détaillée. Le secret n'est pas difficile à pénétrer. Les feuillets blancs albuminés sont des épreuves à l'ar-

gent, fixées après l'impression, qu'on a immergées dans du chlorure de mercure jusqu'à ce que l'image ait disparu, et qu'on a ensuite lavées avec soin. Le papier buvard est imprégné d'hyposulfite de soude, qui réagit sur les sels d'argent restés dans le papier en formant un sulfure brun-noirâtre.

Photographie au magnésium. — Nous parlions dans l'*Annuaire de* 1865, à propos des *soleils artificiels*, de l'intensité de la lumière due à la combustion du magnésium à l'air, et nous insistions sur le caractère essentiellement photogénique des rayons émis par ce foyer de lumière artificielle. Depuis cette époque, on a perfectionné l'appareil à combustion : la *lampe au magnésium* est maintenant garnie de deux mèches tressées à deux ou trois fils brûlant au foyer d'un puissant réflecteur et jetant ainsi un large faisceau divergent. Le fil, étiré en ruban mince se prête en raison de sa meilleure fabrication et de sa forme, au déroulement uniforme, surtout si on en superpose deux ou trois rubans.

Depuis le moment où sir David Brewster indiqua le caractère photogénique de la flamme du magnésium, nombre de personnes, savants, praticiens ou amateurs, se sont complus à faire brûler ce curieux métal ; mais, aujourd'hui encore, bien que la lampe soit commode, le combustible peu coûteux, et destiné à baisser encore son prix à mesure qu'on lui ouvrira un débouché plus considérable, l'industrie n'a pas encore adopté cette source de lumière [1]. Ce fait est d'autant plus bizarre que tous les expérimentateurs ont toujours conclu le plus favorablement possible à l'emploi de cette lumière pour la photographie de nuit. Dès l'origine, nous avons tenté d'obtenir des épreuves photographiques pendant la nuit, et quoique la lampe, alors à son enfance, fût très-imparfaite, on obtint un très-beau cliché, en moins de deux minutes. Le temps de pose, et par suite la dépense, sont bien diminués ; et nous pouvons affirmer qu'un bon opérateur ne manquera jamais une épreuve par la faute de la source de lumière : les expériences que nous avons faites dans plusieurs cours publics du soir, notamment à l'Asile impérial de Vincennes, nous permettent de fixer à une minute environ le temps de pose d'un

[1] Le magnésium coûte 0 fr. 45 le gramme, ce qui correspond à 0 fr. 34 pour 1 mètre de fil.

Le fil pèse en effet 0gr,8 par mètre.

sujet, convenablement éclairé au magnésium ; la dépense de métal estimée à deux francs est évidemment insignifiante lorsqu'il s'agit de réaliser la photographie de nuit.

M. Carey-Lea, un savant et très-habile praticien d'Amérique, a cru devoir donner quelques conseils, non-seulement sur le mode d'éclairage du sujet, mais aussi sur les modifications qu'il serait utile d'apporter à la constitution des bains. La première partie de ses observations rentre dans les conditions de pose que doit réaliser tout opérateur habile.

Chacun sait que la meilleure épreuve est peu satisfaisante si le sujet est *mal ombré*, c'est-à-dire s'il est plaqué de taches obscures et de lumières éclatantes : or, à l'aide de deux lampes, il est facile d'obtenir le parfait éclairage d'une statue ou d'un sujet inerte quelconque [1]. Quant à la modification des bains, les beaux clichés faits avec l'aide de M. Adolphe nous prouvent incontestablement que toutes les méthodes sont bonnes, quelle que soit la source lumineuse, si elles sont bien mises en application.

Voici maintenant des renseignements très-rigoureux qui nous ont été communiqués par M. Allard, le savant ingénieur en chef de l'Administration des phares sur la consommation de fil de magnésium pour une intensité lumineuse déterminée en becs Carcel.

	LONGUEUR BRULÉE	DURÉE.	INTENSITÉ MOYENNE.
Lampe à deux fils	$0^m,71$ (de tresse)	152″	22 becs.
Lampe à trois fils.	$0^m,39$ (de tresse)	64″	43 becs, 3.

Le fil de $29^m,54$ pesait 9 gr 8,

On a compris aisément que l'emploi de la lampe au magnésium

[1] Quand un photographe est appelé à reproduire les traits d'une personne qui vient de mourir, il éprouve de grandes difficultés. La famille désire que l'épreuve rende la dernière expression du mort ; il nefaut donc le changer ni de place ni de position, c'est-à-dire qu'il faut souvent renoncer à l'éclairer convenablement, ce qui serait utile cependant, puisqu'un malade est généralement placé à contre-jour. On ne sait combien de temps poser, comment organiser l'appareil par rapport au jour, de là nombre d'épreuves manquées. La lumière au magnésium est seule capable de résoudre cette importante question photographique ; elle permet de réussir dès la première pose, en moins d'une minute, et de plus elle donne au cliché des tons excessivement favorables au tirage d'épreuves artistiques, ce qui est toujours important, mais surtout en pareil cas.

ne peut convenir qu'à la reproduction de la nature morte. On peut cependant, par artifice, appliquer cette flamme, si favorable au tirage photographique, à fixer les traits de personnes vivantes et même en mouvement. Les essais sont dus à M. Skaife, de Londres. Les plaques sont préparées pour saisir l'image instantanément : la personne qui doit poser prend sa place devant l'appareil dans une chambre peu éclairée ou même presque obscure ; c'est dans ces circonstances que tout est préparé et qu'on procède à la mise au point. Alors, tandis que la personne qui pose, cause avec son voisin, ce qui lui donne une attitude très-naturelle, une vive lumière remplit subitement la chambre et le tirage est effectué. Cette lumière résulte de l'ignition instantanée d'un mélange de magnésium en poudre et de chlorate de potasse : le mélange est placé dans une capsule en fer, que l'on chauffe au moment voulu avec une lampe à alcool. L'effet est tellement rapide qu'il semble dû à un éclair qui traverserait la chambre, le sujet n'a pas le temps de bouger, c'est réellement une photographie instantanée.

Quand nous parlions d'effets de lumière au théâtre, à l'aide du magnésium, on ne connaissait pas encore la poudre de ce métal ; celle-ci, brûlant au sein de l'oxygène cédé par le chlorate de potasse, donne plus aisément l'effet splendide que réalisait le fil brûlant dans un vase transparent rempli d'oxygène. Cette intensité n'est pas consignée dans la note de M. Allard ; elle doit être énorme. A Nottingham, dans une grande soirée donnée en septembre, par l'*Association britannique*, laquelle, par parenthèse, fait un maigre cas de la photographie, on a illuminé les jardins, en brûlant le magnésium d'après une méthode nouvelle due à M. Larkins. Le métal est également à l'état de poudre très-fine que l'on mêle à du sable très-fin afin de régulariser la combustion. On aurait un très-bel effet, pensons-nous, en employant de la chaux ou de la magnésie qui entrerait en irradiation à cette haute température.

La flamme du magnésium a donc conquis son rang industriel ; désormais, elle supplée l'arc voltaïque pour la photographie de nuit, et son rôle dans les effets de lumière au théâtre deviendra de plus en plus important, à mesure qu'on saura mieux préparer le magnésium.

Bibliographie Photographique. — *Traité d'optique photogra-*

phique comprenant la description des objectifs en appareils d'agrandissement, par M. D. V. Monckhoven[1]. — L'étude de la photographie comprend deux parties différentes : d'une part l'*appareil optique*, de l'autre l'*écran sensible*. Ces deux études partielles ont évidemment un égal degré d'importance : et ce qui justifie cette division, c'est qu'elles peuvent être faites isolément ; le plus souvent même, le photographe n'a aucune notion des règles optiques sur lesquelles repose la construction de son objectif. Mais aussi, que d'excellents opticiens ignorent la photographie, tout en construisant des objectifs pour chambres noires ! C'est un mal des deux côtés ; il est cependant encore plus regrettable que le praticien photographe ne puisse apprécier la valeur optique de son instrument. Les traités de physique ne pouvaient suffire, ils comprennent trop de notions étrangères à la photographie, et sont trop brefs sur les points qui touchent directement à cette science. Il fallait un ouvrage spécial, écrit pour les praticiens, leur parlant directement, en employant leur langage technique et discutant dans le sens pratique et usuel. C'est cette lacune qui existait dans la *Bibliothèque du photographe* que M. Monckhoven a voulu combler, et il y a pleinement réussi.

Le volume est divisé en deux livres : le premier comprend l'*optique des appareils photographiques*, le second celle *des appareils d'agrandissement*.

Les notions préliminaires sont suffisantes ; dès le second chapitre l'auteur aborde le sujet essentiel de son ouvrage, l'*étude des lentilles*. Ce n'est certes un exposé vulgaire de leurs propriétés, le physicien même le lira avec intérêt, car il y puisera des renseignements très-exacts et peu connus sur le travail du verre. La question des *Aberrations* est peut-être prise d'un peu haut pour les lecteurs auxquels l'auteur veut s'adresser. Il était fort bon de distinguer les diverses aberrations que l'opérateur peut avoir à combattre, en lui fournissant les moyens de les vaincre ; mais les formules... il n'aura garde de les lire.

La conclusion de cette étude est la description des objectifs employés en photographie ; c'est ici que l'auteur enseigne au praticien comment adapter son objectif à la nature de l'épreuve qu'il doit exécuter ; l'objectif pour portrait n'est pas évidemment celui qui

[1] Victor Masson et fils, éditeurs, place de l'École-de-Médecine. Paris.

convient au paysage ; s'il s'agit de reproduire un tableau, d'agrandir une épreuve quelconque... il faut encore *régler* son objectif. Tous ces conseils pratiques, sur l'intérêt desquels il serait oiseux d'insister, sont du plus haut intérêt. L'auteur établit deux classes d'objectifs : les *aplanétiques* qui donnent des images nettes sur une faible étendue de plan focal avec leur ouverture entière, et *non aplanétiques* qui ne donnent des images nettes qu'à la condition d'être limités par un diaphragme à une très-petite fraction de leur ouverture, mais qui, généralement, embrassent un grand angle et étendent, par conséquent, l'image nette à une grande étendue de plan focal. L'auteur se prononce formellement, en disant : « Beaucoup de nouveaux objectifs non aplanétiques ont été produits dans ces dernières années, mais nous en condamnons formellement l'introduction parmi les photographes et les regardons, non comme un progrès, mais comme un pas en arrière... » Il est constant, en effet, que plus l'ouverture est diminuée, plus le champ est large, mais moins aussi il est éclairé ; or, pour qu'une image soit nette, saillante, en relief, en un mot, il faut que l'intensité de la lumière active soit la plus forte possible. Il faut donc, dans cet ordre d'idées, abandonner l'*objectif simple*, le *globe-lens*, le *doublet* de *M. Ross*, celui de *M. Steinhall*, pour les objectifs aplanétiques, parmi lesquels il faut citer le *triplet* pour le portrait.

L'agrandissement des épreuves négatives est une question du plus grand intérêt. Il est incontestablement plus aisé de prendre un cliché très-petit, et de tirer ensuite les positifs de grandes dimensions que d'opérer directement sur une glace très-grande. Mais il y a aussi des inconvénients; ceux de la *dislocation* de l'image, du *flou* des contours, des *grains*, etc., dus aux phénomènes d'aberration et de diffraction qui sont, pour ainsi dire, impossibles à annihiler absolument.

Tous les appareils d'agrandissement sont fondés sur le même principe, celui de la lanterne magique. Eclairer fortement le cliché et en projeter l'image à l'aide d'un système de lentilles, dont la distance à l'objet dépend de la dimension voulue pour l'image. Les appareils sont nombreux, on n'a qu'à choisir. L'auteur insiste particulièrement sur les appareils étrangers, sur celui de Woodward et sur celui qu'il a lui-même modifié, et qu'il a nommé dialytique; peu importe, au reste : ces appareils diffèrent surtout par le nom, puisque aussitôt que les constructeurs

ont déplacé la lentille dans un objectif, ou modifié le mode d'éclairage, ils annoncent un *appareil nouveau*.

En résumé, l'ouvrage de M. Monckhoven est excellent pour les photographes qui veulent pouvoir raisonner sur l'appareil qu'ils emploient journellement ; c'est un véritable *traité d'optique photographique*, car on sent à chaque page que l'auteur en a longuement médité la matière.

ERNEST SAINT-EDME.

III

REPRODUCTION GALVANOPLASTIQUE DES GRAVURES EN TAILLE-DOUCE

Si l'on jugeait de la perfection ou des progrès d'un art par la multiplication de ses produits, il n'est pas douteux que la gravure ne dût être considérée, à notre époque, comme en pleine voie de prospérité. J'entends surtout la gravure sur bois, dont une multitude de livres, de journaux, de revues sont journellement inondés, ou, comme on dit, illustrés. Mais, hélas! n'est-il pas trop évident que c'est profaner le nom d'art, que de l'appliquer à la majeure partie de ces productions hybrides qui n'ont pas même, comme les produits industriels, le mérite de l'utilité? Il est bien entendu qu'il faut excepter de ce jugement qui pourra sembler sévère à beaucoup, un certain nombre d'œuvres fort remarquables, dessinées par de véritables artistes, gravées par des hommes de talent, et dont l'exécution prouve que ce genre de gravure, si ancien, était susceptible de réels progrès.

Cette extension immense de la gravure sur bois, les abus qu'elle a engendrés, comme les perfectionnements qu'elle a réalisés, sont dus, tout le monde le sait aujourd'hui, à la possibilité de reproduire indéfiniment, par la galvanoplastie, les types de la gravure originale : c'est la substitution du métal au bois qui a rendu possible cette extension. Mais ce genre de gravure, si propre à rendre certains effets, ne peut prétendre à la beauté artistique, à la perfection du trait, à la variété de tons et de nuances que

donne le burin; et la gravure en taille-douce, que tant d'artistes fameux, les Edelinck, les Goltzius, les Marc-Antoine, les Audran, etc., ont portée à une perfection qui fait l'admiration des amateurs, conservera toujours, au point de vue de l'art, une incontestable supériorité.

Malheureusement la gravure au burin demande un travail extrêmement long, et c'est par années qu'il faut compter le temps nécessaire au parfait achèvement des grandes planches. En outre, le tirage des épreuves est fort limité, ce qui porte le prix de chacune d'elles à un chiffre souvent inaccessible à la majorité des acheteurs. De là, cet engouement, d'ailleurs bien naturel, pour des procédés fort inférieurs, artistiquement parlant, mais ayant le mérite du bon marché. La concurrence de la lithographie a porté à la gravure en taille-douce un coup dont elle avait peine à se remettre, quand la gravure sur bois, puis la photographie, sont venues, pour ainsi dire, l'achever.

Mais la science, comme on va le voir, sait panser et guérir les plaies qu'elle a faites d'ailleurs bien involontairement. Que fallait-il pour rendre à la gravure sur acier ou sur cuivre son ancienne prépondérance? Premièrement, trouver le moyen de remédier à ce fatal inconvénient de l'usure des planches qui, après un tirage très-limité, ne donnaient plus que des épreuves médiocres ou même tout à fait mauvaises[1]; en second lieu, rendre le tirage lui-même plus prompt par la multiplication des types.

C'est ce double problème que vient de résoudre un de nos photographes les plus distingués, M. Samson. Il s'est demandé si la galvanoplastie, qui reproduit avec une perfection si grande la gravure en relief ou typographique, n'arriverait point à donner un résultat pareil pour les planches métalliques, en cuivre ou en acier, gravées en taille-douce. Des tentatives avaient été déjà faites dans cette voie; mais les diverses substances dont on se servait pour obtenir des empreintes du type, telles que la gélatine,

[1] On peut voir aujourd'hui, par la comparaison des premières épreuves à celles que livre la Chalcographie du Louvre, la différence qui existe entre une planche neuve et la même planche après qu'elle a subi les plus savantes retouches. Aucun connaisseur ne s'y trompera, ce qui ne nous empêchera point de louer l'heureuse idée qu'a eue l'administration de nos musées nationaux de faire revivre le goût des belles œuvres.

la gutta-percha ou toute autre composition plastique, n'arrivaient point à reproduire les détails les plus minutieux du burin, c'est-à-dire ceux-là même qui donnent à l'œuvre la richesse des tons et des nuances, en un mot, la couleur. M. Samson, après avoir visité les principaux établissements galvanoplastiques d'Allemagne et notamment de Berlin, se mit à l'œuvre, et, après une suite de tâtonnements et d'essais, finit par reconnaître que les dépôts métalliques dus aux courants électriques, permettaient seuls d'obtenir des coquilles d'une perfection suffisante.

La difficulté était grande, car il fallait empêcher l'adhérence du métal de ces coquilles avec celui de la planche originale, tout accident de ce genre ayant pour effet de détruire un travail d'une grande valeur, celui-là même qu'il s'agit de conserver indéfiniment intact. Les coquilles, ou empreintes en relief de toutes les tailles, de tous les creux de la gravure au burin, une fois obtenues, c'est encore la galvanoplastie qui en donne une nouvelle empreinte, conforme cette fois à la planche originale, et d'une perfection telle qu'il est impossible à l'œil le plus exercé, aidé de la loupe la plus puissante, de distinguer le type de l'épreuve galvanoplastique.

Comme rien n'empêche qu'on tire de la coquille autant d'épreuves qu'on voudra, et que chacune de ces dernières, une fois aciérée, résiste au travail de tirage aussi longtemps que l'eût fait la planche originale, il est clair que la reproduction indéfinie d'une gravure en taille-douce devient enfin possible. Qu'on joigne à cela le précieux avantage de conserver intacte la planche elle-même, telle qu'elle est sortie des mains du graveur, et l'on se fera une idée de l'importance d'une invention qui met la gravure d'art en état de soutenir la concurrence avec les procédés de gravure typographique, tout en lui maintenant sa supériorité artistique!

Ce qui augmente aussi, tout le monde s'en rendra compte aisément, le prix des épreuves de la gravure au burin, c'est la nécessité d'un tirage à part, beaucoup plus long et dispendieux que le tirage en typographie. Or, rien n'est plus aisé, surtout pour les planches de dimension moyenne, de diminuer ces frais : il suffira de réunir sur une même planche deux ou quatre épreuves galvanoplastiques, ce qui multipliera dans la même proportion le nombre des exemplaires obtenus par le même tirage.

Les détails dans lesquels nous venons d'entrer donnent une faible idée des difficultés qu'a eues à surmonter l'inventeur. Le côté original de sa découverte consiste évidemment dans le procédé qui lui permet de prendre des empreintes métalliques de la planche, au lieu des empreintes en gélatine et en gutta-percha, et cela, sans qu'il y ait la moindre adhérence entre le métal de la planche et celui qu'y dépose le courant galvanique. Mais il n'était pas moins important d'arriver à produire, pour les planches qui servent au tirage, un métal parfaitement homogène, assez ferme pour ne point céder sous la pression du rouleau, assez souple pour n'être pas cassant. C'est par l'étude des conditions que doivent remplir les bains électroplastiques, par la constance des courants, par le choix des piles et batteries, le calcul de leur intensité, qui doit varier suivant les cas, que M. Samson est parvenu à donner à son cuivre galvanique toutes les qualités du cuivre plané.

Par les procédés ordinaires de galvanoplastie, non-seulement on s'exposerait à produire l'adhérence du dépôt métallique sur la planche originale, mais encore on risquerait, par l'action corrosive des bains, de perdre des œuvres d'un grand prix. Toutes ces difficultés ont été successivement levées, et les éditeurs des œuvres d'art se trouvent désormais en possession de ce grand desideratum de l'impression des gravures en taille-douce, leur reproduction indéfinie. Avant de s'occuper de photographie ou de galvanoplastie, M. Samson professait les sciences mathématiques ou physiques. Il n'est pas douteux que ses connaissances théoriques ont dû lui être d'un grand secours pour la solution de toutes ces difficultés.

Ce n'est pas tout. Les retouches des planches, dans les parties mauvaises ou détériorées peuvent se faire sans repoussage, en comblant les rayures, les trous, les espaces endommagés dont le burin reprend ensuite la gravure à nouveau, avantage précieux pour les anciennes planches, comme pour les nouvelles.

Terminons enfin, en disant que les procédés de M. Samson ont subi l'épreuve de l'expérience. Les belles planches qui ornent la magnifique édition des *Œuvres d'Alfred de Musset* lui ont été confiées par M. Charpentier, et l'on peut s'assurer, en les admirant, de la perfection avec laquelle ont été reproduites les planches originales. Nous avouons, pour notre compte, avoir été

émerveillé de la beauté des épreuves, de la fraîcheur et de la beauté du trait, qui ne permettent en aucune façon, à l'œil le plus exercé, de reconnaître une différence de tirage entre la gravure obtenue avec le type et celle du cliché. Aussi, chose rare, les illustrations de cette édition d'amateur sont-elles en parfaite harmonie avec la belle exécution typographique du texte.

Il y a donc là, croyons-nous, un véritable service rendu aux arts, et dont le public profitera comme les éditeurs. Certains collectionneurs monomanes pourront se plaindre de voir se multiplier ainsi des œuvres dont toute la valeur consiste pour eux dans la rareté; mais quant à nous, nous ne nous élèverons jamais contre les inventions qui ont pour objet de rendre accessibles à tous les chefs-d'œuvre propres à épurer le goût, à développer le sentiment exquis du beau.

AMÉDÉE GUILLEMIN.

CHIMIE APPLIQUÉE

I

LA SOUDE ARTIFICIELLE

THÉORIES DE SA FABRICATION. — NOUVELLES MÉTHODES DE PRODUCTION. UTILISATION DES RÉSIDUS.

> Il résulte de la découverte de la fabrication de la soude artificielle que la France, qui consomme une quantité prodigieuse de soude tous les ans... et qui exporte un numéraire considérable pour l'acheter à l'étranger, gardera son argent, et les arts et les manufactures ne seront plus exposés à manquer de cet objet de première nécessité par les vicissitudes d'une guerre ou les disettes de récolte d'une plante... qu'on fera valoir avec bénéfice le sel marin, qui est une de nos richesses territoriales; que les arts qui consomment aussi une très-grande quantité d'acide marin en seront abondamment pourvus, et à bon marché.... On peut même ajouter qu'à raison de l'abondance des matières premières et de leur bas prix en France, les nations voisines deviendraient en peu de temps tributaires de la nôtre pour ces différents objets.
>
> NICOLAS LEBLANC [1].

> La découverte de la soude artificielle est un des plus grands bienfaits, sinon le plus grand, dont les arts chimiques aient été dotés depuis soixante ans.
>
> DUMAS.

On peut dire de la consommation du carbonate de soude, ce que Chaptal a déjà dit de celle de l'acide sulfurique : c'est un véritable thermomètre, où peut se lire le degré de prospérité commerciale d'un peuple. Ce produit joue, en effet, un rôle immense

[1] Extrait du brevet de quinze ans pris par Nicolas Leblanc, d'après une demande faite le 19 septembre 1791. — Procès-verbal de dépôt fait au secrétariat du département de Paris.

dans l'industrie; uni à la silice, il se transforme en verre, combiné aux acides gras, il se métamorphose en savon; dissous dans l'eau, il fournit aux teinturiers un liquide précieux, pour lessiver les fils et les tissus. Les fabricants de verre et de savon du monde entier en emploient d'énormes quantités, plus de 400 millions de kilogrammes par an. La France à elle seule en fabrique environ 100 millions de kilogrammes, et l'Angleterre 150 millions.

C'est vers la fin du dix-huitième siècle seulement qu'un Français dont le nom n'a pas encore la notoriété qu'il mérite, Nicolas Leblanc, découvrit l'art de fabriquer artificiellement le carbonate de soude, d'abord extrait des cendres des plantes marines. Cette découverte est considérée, à juste titre, comme l'une des plus brillantes qui aient jamais été faites dans les arts chimiques, et elle emprunte aux circonstances qui lui ont donné naissance de grands motifs d'intérêt. Née sur notre sol, au milieu de la crise la plus étonnante de l'histoire, elle a sauvé notre commerce d'une ruine certaine, en exerçant plus tard, sur diverses branches de l'industrie une profonde et salutaire influence. Mais ici, comme dans bien d'autres cas, la pratique a précédé la science, et le sel de soude s'est produit, pendant soixante ans, sans qu'on s'expliquât nettement les réactions qui présidaient à sa formation.

Depuis quelques années, des savants et des industriels sont revenus sur cette question; ils ont reconnu que les interprétations théoriques jusqu'ici admises étaient inexactes, que l'explication répétée depuis trente ans dans tous les cours, et dans tous les traités était erronée... de nouvelles méthodes ont été proposées; peut-être touche-t-on au moment où la masse de résidus laissée par cette fabrication sera utilisée... le moment nous paraît propice pour entretenir le lecteur des progrès d'une de nos grandes industries nationales.

I

Ancienne préparation du sel de soude. — Ses inconvénients. — Nécessité de fabriquer artificiellement la soude. — Appel fait aux chimistes par le Comité de salut public. — Divers projets proposés. — Nicolas Leblanc. — Description de son procédé.

Avant la Révolution française les côtes espagnoles qui avoisinent Alicante et Malaga, les côtes françaises situées près de Narbonne,

étaient couvertes de plantes marines (*varechs*, *salsola soda*, *salicornia Europæa*, etc.) qu'on cultivait avec le plus grand soin. Quand ces végétaux avaient atteint un développement suffisant, on les coupait, on les exposait à l'air pour les sécher, on les entassait dans des fossés de forme conique, où ils étaient brûlés. Il en résultait une abondante production de cendres, qui entraient en fusion sous l'action du feu, et se transformaient en une masse vitreuse, très-dure et très-cassante. C'était la *soude brute*.

Broyée, traitée par l'eau, elle donnait une lessive, qui servait à préparer par l'évaporation le *sel de soude*.

Cette fabrication encore usitée dans certaines parties de l'Espagne est aussi simple, en théorie qu'en pratique : la combustion des plantes marines, transforme en carbonate de soude l'oxalate qu'elles contiennent, et donne des cendres formées de diverses substances minérales : carbonate et sulfate de soude, sel marin, sulfure de sodium, carbonate de chaux, oxyde de fer, unis à des quantités plus ou moins grandes de charbon. Ces trois dernières substances insolubles dans l'eau sont séparées par la décantation des lessives toujours de médiocre qualité, en raison de leur richesse en chlorures et en sulfates alcalins.

L'Espagne était, au siècle dernier, le pays de la soude ; les soudes d'Alicante et de Malaga, qui contenaient 25 à 30 pour 100 de carbonate de soude rivalisaient avec les soudes de Narbonne, et la France était obligée de recourir à la production étrangère pour alimenter ses fabriques qui utilisaient encore la soude récoltée sous le nom de *natron*, pendant l'évaporation des eaux alcalines de certains lacs. Jusqu'à la Révolution française les choses se passèrent ainsi, mais bientôt la guerre vint interrompre nos relations commerciales extérieures : il fallut alors vivre de ses propres ressources, et fournir à tout prix à nos verreries et à nos savonneries le sel de soude qui leur est indispensable. C'est dans cette nécessité suprême que prirent naissance nos grandes industries.

Les nitrières artificielles donnèrent naissance au salpêtre, les pyrites fournirent le soufre qu'on allait auparavant chercher en Sicile, les schistes se transformèrent en alun, et le sel de soude enfin, que nous demandions à l'Espagne se fabriqua avec le sel marin. Au moment où la patrie en danger exigeait de tous un suprême effort, le Comité de salut public avait fait appel à tous

les chimistes français ; il les engageait à chercher un moyen de fabriquer la soude avec des matières premières extraites du sol national[1]. Cet appel fut entendu. Une commission composée de Lelièvre, Pelletier, Giroud et Darcet, eut à examiner bientôt vingt-cinq ou trente procédés. C'était Alban, directeur de la manufacture de Javelle, qui traitait par le fer le sulfure de sodium obtenu en faisant agir le charbon sur le sulfate de soude ; il produisait ainsi de la soude et du sulfure de fer ; c'étaient Guyton et Carny qui faisaient agir le carbonate de chaux sur le sel marin ; c'étaient Malherbe et Athenas, etc. ; c'était enfin Nicolas Leblanc, un pauvre chirurgien français dont le procédé, le premier présenté à la Commission, fut admis à l'unanimité. Ce fait est vraiment remarquable, et il y a lieu de s'étonner en voyant la Commission discerner sans hésitation parmi des procédés si divers, celui qu'une expérience de soixante ans devait consacrer comme le plus profitable.

On ne sait que fort peu de choses sur la vie de Leblanc, toutefois, d'après des documents authentiques, recueillis et publiés par MM. Thénard, Chevreul, Pelouze, Regnault, Balard et Dumas, complétés enfin récemment par M. Payen, on peut retracer quelques traits de la vie de cet immortel inventeur et redresser quelques erreurs commises à son sujet[2].

Nicolas Leblanc était, d'après les qualifications qui figurent en tête de quelques-uns de ses ouvrages, « ancien officier de santé, chimiste, ancien administrateur du département de la Seine, membre de plusieurs sociétés de savants et d'artistes. » Il s'était fait connaître par des travaux sur la cristallographie, et il avait indiqué une méthode pour obtenir des cristaux isolés et complets d'un assez grand volume. La cristallographie a été l'étude de presque toute sa vie, et c'est probablement de ses recherches sur les cristaux qu'il attendait une renommée scientifique. Il avait fait une observation des plus importantes ; il avait remarqué que plusieurs sulfates affectent une même forme cristalline et qu'ils peuvent se superposer les uns aux autres dans leurs cristaux ; cette observation

[1] On peut consulter, à ce sujet, une curieuse brochure intitulée : *Description de divers procédés pour extraire la soude du sel marin, faite en exécution d'un arrêté du Comité de salut public du 8 pluviôse an II de la République*.

[2] *Bulletin de la Société d'encouragement*, 1856, p. 212 (*Revue des Deux Mondes*, juin, 1866).

peut être considérée comme la base de la théorie de l'*isomorphisme*. Les recherches de Leblanc, présentées à l'Académie des sciences, de 1786 à 1788, lui valurent plusieurs insertions dans le Recueil des savants étrangers, et en 1792, un rapport signé au Louvre, par Daubenton, Sage, Haüy et Berthollet, conseillait de charger Leblanc de former une collection complète de tous les sels cristallisés. Le 27 prairial, an II de la République, le comité d'instruction publique de la Convention nationale confiait à Leblanc le soin de rédiger un ouvrage sur la cristallotechnie, mais les circonstances s'opposèrent à la publication de ce travail, qui ne devait pas voir le jour.

Enfin le 30 thermidor de l'an X, Haüy et Vauquelin, dans un nouveau rapport fait à l'Académie des sciences, invitaient le ministre de l'intérieur « à fournir au citoyen Leblanc les moyens nécessaires pour continuer ses recherches sur la cristallisation des sels, et pour imprimer son ouvrage en vue de confirmer et d'étendre la théorie de la cristallisation, de former des collections complètes de cristaux bien purs, et de rendre à ses occupations chéries un savant que les malheurs de la Révolution ont mis dans l'impossibilité de soutenir sa famille. »

On voit que Leblanc n'a pas échappé à la règle commune, il a payé la rançon du génie, et comme tant d'autres inventeurs qui ont enrichi l'industrie de leur pays, il a vécu dans la misère. Leblanc n'a jamais été abattu par les revers ; à un puissant esprit, il joingait une volonté puissante, et les cruels mécomptes de sa carrière d'industriel, ne l'ont que médiocrement atteint. Plutôt savant que manufacturier, il s'adonna toute sa vie aux recherches scientifiques, et s'il comprit l'importance de sa découverte industrielle, il ne considéra les malheurs personnels qui en furent la conséquence, que comme un incident secondaire de son existence.

« En 1802, dit M. Payen, la protection et les secours du citoyen Molard, directeur du Conservatoire des arts et métiers, lui permirent de continuer, dans un des laboratoires de cet établissement, ses persévérantes études. Il s'y adonna tout entier, et sans parvenir à former une collection complète, comme il le voulait, il put présenter aux yeux du public des produits très-remarquables. Cette collection de cristaux était sa constante et chère préoccupation. « J'aurais pu l'avancer depuis plus de vingt ans, écrit-il « avec mélancolie, elle sera reprise un jour... Si cet art peut être ré-

« tabli..., qu'une main plus heureuse, un observateur plus éclairé « s'en occupe ! Je serai consolé de n'avoir pu trouver de secours « pour porter mon travail plus loin. » De la soude pas un mot ; de cette fortune entrevue, pas de regrets. Dans les écrits où il nous raconte vingt années de travaux patients, à peine si une note succincte mentionne les deux années qu'il a consacrées à établir la fabrique de soude. »

Certes, Leblanc avait bien entrevu la fortune, et jamais découverte ne vit présider à sa naissance plus grand concours de circonstances favorables. A peine un brevet fut-il pris (27 janvier 1791) qu'une société se forma entre Leblanc, Dizé, Shée et le duc d'Orléans. L'usine s'organisa à Saint-Denis, et les faveurs de la fortune semblaient être à jamais assurées aux sociétaires, quand l'exécution du duc d'Orléans vint anéantir leurs plus légitimes espérances. Leblanc, sans se laisser abattre par ces premiers revers, voulut fonder une usine à Marseille, aux portes même des savonneries; cette idée heureuse ne devait être exploitée plus tard que par d'autres, et Leblanc, forcé de liquider l'actif social de la société, vit bientôt vendre à la criée les ustensiles, les produits, les meubles de l'établissement qu'il avait fondé. La chute de l'usine entraînait la ruine forcée de l'inventeur; le brevet, cessant d'être exploité, tombait dans le domaine public, et Leblanc, déchu de son privilége, vit s'écouler tristement les années jusqu'en l'an VIII, époque à laquelle une décision ministérielle le réintégra dans la possession du local de l'usine de Saint-Denis. Ce fut là toute son indemnité. Après des tentatives infructueuses faites pour rétablir l'ancienne fabrication, pour restaurer les bâtiments en partie détruits, pour réunir des capitaux, l'auteur d'une des plus grandes découvertes relatives aux arts chimiques, mourut misérable en 1806[1].

Cependant la fabrication de la soude artificielle prenait de toutes parts, une extension considérable, et tandis que les héritiers de Leblanc ne retiraient aucun fruit de cette découverte, nombre d'industriels eurent lieu de s'applaudir des résultats obtenus par la nouvelle industrie. Plus tard on voulut enlever à Leblanc la priorité de sa découverte[2], et c'est seulement en no-

[1] On a prétendu que Leblanc s'était suicidé de désespoir, mais nous ne pensons pas qu'aucun document sérieux vienne appuyer cette assertion.

[2] Nous avons consulté, à ce sujet, à la Bibliothèque impériale, une bro-

vembre 1856, que toute la section de chimie de l'Académie des sciences, appelée à donner son avis au sujet d'une pétition adressée à Napoléon III par la famille de Leblanc, rendit à l'inventeur le solennel hommage que le pays tout entier lui devait. Voici les conclusions présentées par M. Dumas, au nom de la Commission :

« La découverte importante du procédé par lequel on extrait la soude du sel marin appartient tout entière à Leblanc... Si, comme le désire sa famille, il s'agit de rendre un juste hommage à l'auteur de la découverte de la soude factice, c'est à la mémoire de Leblanc qu'il est dû, c'est à sa famille qu'il doit être adressé... Leblanc est l'auteur d'une industrie qui a donné l'essor à toutes les applications de la chimie aux arts. »

Il est temps d'arriver à la description des réactions sur lesquelles repose la fabrication de Leblanc.

Le sel marin est par excellence le minerai de sodium, et il fallait évidemment l'employer pour obtenir la soude. Quand on attaque le sel marin ou chlorure de sodium par l'acide sulfurique, il se forme du sulfate de soude et de l'acide chlorhydrique gazeux qui se dégage. Du temps de Leblanc cette réaction était connue et employée, mais on ignorait la nature du gaz acide qui prend naissance; on l'appelait, acide muriatique et le sel marin était regardé comme le résultat de l'union de cet acide muriatique avec la soude : on admettait que l'acide sulfurique se combinait avec la soude et chassait l'acide muriatique ; c'était là une grave erreur[1]. La présence de l'eau est en effet indispensable dans la réaction; cette eau en se décomposant fournit de l'hydrogène au chlore du chlorure de sodium, et de l'oxygène au sodium[2].

Le sulfate de soude formé, il s'agit d'éliminer l'acide sulfurique pour obtenir la soude libre.

chure fort curieuse, publiée par Dizé, l'associé de Leblanc. Elle est intitulée : *Réclamations sur l'article du Rapport du jury, sur l'admission aux prix décennaux, concernant la découverte de la fabrication de la soude artificielle*, par J. J. Dizé. — Imprimerie de Delance et Belin, rue des Mathurins, hôtel Cluny. 1810.

[1] *Études pour servir à l'histoire de la chimie*, par P. P. Dehérain. — Découverte du chlore. *Annales du Conservatoire*, t. IV, p. 282 (1863.)

[2] $$\underbrace{NaCl}_{\text{sel marin.}} + \underbrace{SO^3HO}_{\text{acide sulfurique monohydraté.}} = \underbrace{SO^3NaO}_{\text{sulfate de soude.}} + \underbrace{HCl}_{\text{acide chlorhydrique.}}$$

De la Métherie, professeur au Collége de France, proposait de traiter le chlorure de sodium par l'acide sulfurique, et le sulfate ainsi obtenu par le charbon. Leblanc, qui assistait à ces cours, essaya ce procédé, mais il obtint du sulfure de sodium et de l'acide carbonique, et non, comme on pouvait l'espérer, de la soude et de l'acide sulfureux. Une véritable inspiration lui suggéra l'idée de jeter de la craie dans ce mélange ; par cette simple addition, la préparation de soude artificielle était un fait acquis à la science. Ce qu'il y a de singulier, c'est que Leblanc, pas plus qu'aucun de ses contemporains, ne comprenait la théorie de cette réaction; mais l'instinct de l'inventeur le mena par de nombreux essais, par des tâtonnements patients, par une série d'expériences habilement conduites à établir les doses exactes que nécessitait la réussite et soixante ans de succès n'ont pas changé les proportions indiquées depuis le jour de la première opération.

Ces proportions sont les suivantes :

Sulfate de soude.	2000
Carbonate de chaux.	2000
Charbon.	1000

Le mélange est introduit dans un fourneau à réverbère de forme elliptique, dont la sole, construite en briques réfractaires, offre une grande surface. Le mélange, fortement chauffé, est brassé de temps en temps au moyen d'un ringard en fer ; à la température rouge, il se ramollit peu à peu ; il ne tarde pas à prendre une consistance pâteuse, et laisse échapper avec effervescence un gaz qui brûle avec une flamme bleue. Après deux heures environ, l'opération terminée donne un produit gris bleuâtre légèrement poreux qui est *la soude artificielle brute*.

Le sel, parfois directement livré à l'industrie, est généralement purifié par l'action de l'eau tiède et par l'effet d'une filtration méthodique qui sépare le charbon et les matières insolubles issues de la réaction [1].

[1] Parmi ceux qui exploitèrent le procédé Leblanc, le premier fut J. B. Payen, qui s'établit, en 1794, dans la plaine de Grenelle, alors déserte. Ce nouveau procédé fut successivement exploité par Alban, par Gautier-Berrera, par Anfry et Darcy, puis enfin dans les soudières de Marseille, de Chauny, de Rouen. En peu d'années, la fabrication de la soude artificielle prit une extension telle, que non-seulement on ne demanda rien à l'importation, mais on

II

Théorie de la fabrication de la soude artificielle. — Berzelius. — Thénard. — M. Dumas. — L'oxysulfure de calcium. — Travaux récents de MM. Scheurer Kestner, Kopp, Kolb et Pelouze. — Conclusion.

Le procédé de Leblanc pour la fabrication de la soude artificielle est longtemps resté sans interprétation théorique.

D'après Berzelius le charbon se transforme en acide carbonique aux dépens de l'oxygène de l'acide sulfurique, et cet acide carbonique formé se combine avec la soude, tandis que le soufre s'unit au calcium de la chaux dépouillé de son oxygène et de son acide carbonique par l'action réunie de la chaleur et du charbon, pour donner naissance à un sulfure de calcium peu soluble dans l'eau[1].

Thénard admet la formation d'un sulfure de calcium uni à la chaux[2]. M. Dumas, enfin, dans son traité de chimie (tome II, p. 474), s'exprime ainsi au sujet de cette théorie : « Le sulfate de soude et une partie de la craie se transforment en sulfate de chaux et en carbonate de soude. Comme en dissolvant la matière dans l'eau on reproduirait le sulfate de soude et la craie, on ajoute le charbon pour décomposer le sulfate de chaux. Mais il faut observer encore que si l'on mettait deux atomes de craie seulement et que le sulfate de chaux fût transformé en sulfure de calcium par le carbone; en dissolvant dans l'eau, celui-ci serait décomposé par le carbonate de soude, et on aurait encore de la craie reformée et du sulfure de sodium. C'est ce qui n'a plus lieu quand on fait usage de trois atomes de craie, parce qu'alors il reste un atome de chaux libre et que celui-ci combiné avec les deux atomes de sulfure de calcium, produit un composé insoluble dans l'eau

interdit formellement notre marché aux produits étrangers. Le 20 juillet 1810, le *Journal des Débats*, alors le Journal de l'Empire, publia le décret suivant : « L'entrée de la soude étrangère et des savons étrangers est prohibée par toutes les frontières de terre et de mer de l'empire français. »

Ce ne fut qu'en 1823 que James Muspratt put fonder une usine à soude à Liverpool. Il adopta de tout point le système de Leblanc, et cette usine est encore une des plus grandes de l'Angleterre et du monde entier.

[1] *Traité de chimie*, t. III, p. 226.

[2] *Ibidem*, t. III. p. 117.

froide. Ainsi le carbonate de soude formé se dissout seul et échappe tout entier à la réaction du sulfure produit. »

Ces considérations ont amené M. Dumas à admettre l'hypothèse d'un composé insoluble, l'*oxysulfure de calcium*[1].

Cette théorie, évidemment très-séduisante, était malheureusement fondée sur l'existence hypothétique d'un composé qu'on n'a jamais isolé[2].

M. Gossage, le premier, s'est affranchi de l'hypothèse d'un oxysulfure insoluble. En 1861, dans un mémoire adressé à l'Association britannique de Manchester, il assure que le sulfure de cal-

[1] Voici les réactions qui se produisent d'après la théorie de M. Dumas : 1° réaction entre le sulfate de soude et le carbonate de chaux à une haute température,

$$CaOCO^2 + SO^3NaO = SO^3CaO + CO^2NaO.$$

Sous l'influence de l'eau, les sels nouveaux réagissent l'un sur l'autre, et régénèrent les sels primitifs ; il est donc nécessaire de métamorphoser le sulfate de chaux en sulfure de calcium, au moyen du charbon.

$$SO^3CaO + 4C = CaS + 4CO.$$

Comme on supposait enfin que le sulfure de calcium formé est soluble dans l'eau et réagit sur le carbonate de soude pour l'amener à l'état de sulfure de sodium d'après la réaction :

$$CO^2NaO + CaS + Aq = NaS + CO^2CaO + Aq.$$

Il fallait admettre la formation d'un oxysulfure de calcium insoluble ; les chiffres de Leblanc venaient à propos offrir un excès de craie, et on adopta définitivement la réaction suivante :

$$2\ SO^3NaO + 3\ CO^2CaO + 1\ 9C = 2\ CO^2NaO + CaO,2CaS + 10\ CO.$$

[2] M. Unger, suivant cette même voie hypothétique, a assigné à l'oxysulfure de calcium une formule analogue à celle d'un oxysulfure de baryum connu : BaO 3 BaS. Cette supposition pouvait lutter avec celle de M. Dumas, car d'après la réaction suivante,

$$3(NaO,SO^3) + 4(CaO,CO^2) + 18\ C = 3(NaO,CO^2) + CaO,3CaS + 14\ CO + 5\ C,$$

on arrive aux chiffres suivants :

100 sulfate de soude, 94 craie, 50 carbone, qui se rapprochent de ceux qu'a fixés Leblanc.

M. Kynaston (*the Chemist ;* octobre 1859) admet la formation d'un composé insoluble, $CaO,CO^2 + CaS$. D'autres interprétations ont été encore données par d'autres chimistes, mais nous nous en tiendrons à ces deux exemples, voulant uniquement faire voir qu'un grand nombre de réactions pouvaient expliquer la formation de la soude artificielle.

cium est complétement insoluble dans l'eau, mais il n'entre dans aucun détail expérimental.

M. A. Dubrunfaut[1] et surtout M. A. Scheurer-Kestner[2] étudient la théorie de la fabrication de la soude, non plus au laboratoire, mais dans l'usine même, et s'efforcent de suivre pas à pas, guidés par l'analyse, les phases successives de l'opération industrielle.

La soude brute contient d'après eux quatre substances qu'on peut considérer comme essentielles à sa composition ; le carbonate de soude, le sulfure de calcium, le carbonate de chaux, la chaux. — Ces substances seules jouent un rôle important. Les autres matières, telles que : charbon, silice, alumine, oxyde de fer, magnésie, acide sulfurique, chlore, sont accidentelles, et proviennent des impuretés inhérentes aux substances mises en présence à l'origine de la réaction

M. A. Scheurer-Kestner, après une série d'expériences ingénieuses, dans le détail desquelles il nous est impossible d'entrer, arrive aux conclusions suivantes :

L'hypothèse de l'oxysulfure de calcium n'est pas nécessaire pour établir la théorie du procédé Leblanc. Les marcs de soude sont uniquement formés de sulfure de calcium, de carbonate de chaux, et quelquefois d'oxyde de calcium. L'insolubilité relative du sulfure de calcium est suffisante pour l'empêcher de réagir sur le carbonate de soude.

La soude brute bien fabriquée ne contient pas de soude caustique, celle qui existe dans les dissolutions de la soude brute, provient de la décomposition, au sein de l'eau, du carbonate de soude, par la chaux mélangée au sulfure insoluble.

En définitive, la réaction entre les trois matières premières qui servent à préparer la soude sont des plus simples : Il y a d'abord réduction de sulfate de soude par le charbon, c'est-à-dire formation de sulfure de sodium et d'acide carbonique[3]. Le sulfure

[1] *Les Mondes*, 1865, p. 515.

[2] *Recherches théoriques sur la préparation de la soude par le procédé Leblanc. Annales de chimie et de physiqae*, 4e série. t. I, 1864. — *Répertoire de chimie appliquée*, 1862.

[3] M. Unger, le premier, a constaté que la réduction du sulfate de soude par le charbon donne toujours naissance à un dégagement d'acide carbonique. Voir *Annalen der Chemie und Pharmacie*, t. LXIII.

de sodium formé réagit aussitôt sur le carbonate de chaux, et produit du sulfure de calcium et du carbonate de soude[1].

Il est facile de comprendre la nécessité d'un excès de craie et de charbon. Si l'on opérait strictement sur les proportions théoriques, on pourrait souvent obtenir une soude mélangée de sulfate non décomposé et souillée de sulfure de sodium. Supposons, en effet, qu'une partie du charbon soit brûlé par l'air au commencement de l'opération, une quantité correspondante de sulfate de soude restera intacte, si d'autre part, la température est trop élevée, la craie pourra se décomposer en partie, et se transformer en chaux qui n'agira plus sur le sulfure de sodium. — L'excès de craie, l'excès de charbon, compensent donc la perte due à une opération défectueuse[2]. D'après les expériences de M. Kolb, on pourrait forcer presque indéfiniment les doses de craie et de charbon, sans qu'il en résultât aucun inconvénient.

Ainsi, pendant près d'un demi-siècle, l'incompatibilité du carbonate de soude et du sulfure de calcium, en présence de l'eau, fut considérée comme un fait certain, sans que personne contrôlât cette assertion par une expérience. Mais aujourd'hui les travaux s'accumulent ; M. J. Kolb[3], M. Pelouze[4], etc., ont encore étudié à fond les diverses réactions qui s'opèrent dans le four à soude, et si les opinions de ces chimistes diffèrent sur quelques points d'un intérêt secondaire, elles les conduisent cependant par des voies différentes à la même théorie. En définitive, d'après toutes ces recherches nouvelles, le sulfure de calcium, calciné avec la chaux, présente tous les caractères d'un mélange, et l'oxysulfure de calcium, qui se trouve signalé dans tous les traités de chimie, et dont la formation a été si nettement expliquée, a désormais cessé de vivre.

[1] Voici la réaction théorique de M. Scheurer Kestner :

$$5Na^2SO^4 + 10C = 5Na^2S + 10CO^2$$
$$5Na^2S + 7Ca^2CO^3 = 5Na^2CO^3 + 5Ca^2S + 2Ca^2O + 2CO^2.$$

[2] Les premiers essais de Leblanc, ont été faits sans excès de calcaire : l'inventeur proposait d'abord de prendre « une quantité donnée de sel de Glauber, *la moitié de son poids* de craie et le quart du poids de ce même sel de charbon. » Ce n'est que plus tard (brevet du 15 septembre 1791) qu'il modifia ces proportions

[3] *Annales de chimie et de physique*, 1866, t. VII, p. 118.

[4] *Annales de chimie et de physique*, t. VII, 4e série, p. 283.

Ces résultats ont une grande importance, car s'il est vrai que la fabrication fonctionnait parfaitement avant qu'on les eût obtenus, il n'en est pas moins clair que la connaissance complète de la théorie d'une telle industrie est indispensable. Comment, en effet, perfectionner un procédé dont le mécanisme est inconnu, comment encore utiliser un résidu dont on ignore la nature, et comment arriver, par des déductions théoriques, à extraire, par exemple, le soufre d'un corps dont la composition n'est pas nettement établie.

III

Tentatives faites pour perfectionner le procédé Leblanc. — Procédé de M. E. Kopp. Différentes réactions produisant le sel de soude.

Le carbonate de soude ne prend pas seulement naissance dans la réaction qui résulte de l'action de la chaleur sur un mélange de sulfate de soude, de craie et de charbon ; il peut se former encore dans un grand nombre d'autres circonstances, et on a souvent indiqué, depuis quelques années surtout, de nouvelles méthodes de fabrication que nous devons passer en revue.

Chez nos voisins d'outre-Manche, la soude artificielle se prépare dans quelques usines, notamment chez MM. Blythe et Benson, aux environs de Manchester, au moyen d'un mélange formé par du sulfate de soude, du charbon et du peroxyde de fer.

Ce procédé indiqué par M. E. Kopp dès 1856 [1], présenterait d'après ce chimiste, un immense avantage ; il permettrait de retrouver tout le soufre primitivement contenu dans le sulfate de soude.

La première opération consiste à mélanger ensemble

125	kilogrammes	de sulfate de soude,
80	—	de peroxyde de fer,
55	—	de charbon.

Il va sans dire que ces proportions varient suivant le degré de pureté des substances employées, mais il est nécessaire de faire agir une quantité de peroxyde de fer telle que le fer qui s'y trouve puisse se combiner avec la totalité du soufre contenu dans

[1] *Annales de chimie et de physique*. Septembre 1866. — Notice sur un procédé perfectionné de la soude artificielle et de l'acide sulfurique, par M. E. Kopp.

le sulfate alcalin, pour donner naissance à du sulfure de fer FeS ; il n'y a pas d'inconvénient à ajouter un petit excès de peroxyde de fer. On emploie indifféremment le peroxyde de fer naturel ou artificiel, le fer oligiste, ou l'oxyde des battitures.

Le charbon dont on fait usage est le charbon de bois, la houille, le coke, le lignite ou l'anthracite. En Angleterre on emploie le charbon de menue houille de qualité ordinaire. Ici l'excès de charbon est nuisible, car il favorise la présence du sulfure de sodium dans le sel de soude, et souillerait plus tard par de l'acide carbonique, l'acide sulfureux extrait du résidu de sulfure de fer.

Le sulfate de soude, enfin, est celui qu'on prépare en faisant agir l'acide sulfurique sur le sel marin.

Le sulfate de soude, le peroxyde de fer, et le charbon, intimement mélangés, sont introduits dans le four à calcination, semblable au four ordinaire et le mode de traitement rappelle complétement celui de Leblanc. La substance s'amollit sous l'action du feu, elle devient pâteuse, et ne tarde pas à former un liquide, dont la fluidité augmente à mesure qu'il est brassé, et rapproché du feu. Des flammes jaunes s'élèvent du sein de la masse, une vive effervescence se manifeste. Bientôt, cette sorte d'ébullition s'apaise ; quand la matière s'affaisse, et offre l'aspect d'une pâte demi-liquide et homogène, l'opération est achevée.

Cette pâte ne séjourne pas dans le fourneau ; on l'en retire immédiatement, on la coule dans une caisse de tôle, ou elle se refroidit lentement à l'abri du contact de l'air. On obtient ainsi la soude brute ferrugineuse, sous forme d'un parallèlipipède, noirâtre, poreux, et très-dense. Quand l'opération a été bien dirigée, le bloc est dur, et sa cassure cristalline offre un reflet métallique verdâtre et très-brillant.

Il s'agit d'en tirer du carbonate de soude soluble, et du sulfure de fer insoluble. Le lavage ne peut pas s'opérer comme pour la soude brute calcaire ; il ne fournirait qu'un liquide noirâtre, ne s'éclaircissant que très-lentement, et contenant de grandes quantités de soude caustique et de sulfure de sodium. Mais il devient au contraire fructueux quand la soude brute ferrugineuse est soumise à une *délitation*, qui est une des phases les plus importantes de cette nouvelle fabrication.

Abandonnée au contact de l'air humide, la soude ferrugineuse subit en effet une profonde modification. Son éclat disparaît, sa

dureté diminue ; le bloc se fendille, s'effleurit, il semble bientôt saupoudré d'une couche noirâtre, dont l'épaisseur augmente très-sensiblement d'heure en heure. Il absorbe, dans cette réaction, de l'oxygène, de la vapeur d'eau et de l'acide carbonique; la température s'élève au point de produire une véritable ignition, et par le lavage on obtient un sulfate de soude qui contient alors 15 pour 100 seulement de carbonate de soude.

Mais, si l'on évite cette élévation de température en séparant la poudre à mesure qu'elle se forme, le bloc se transforme tout entier en une substance pulvérulente qui, saturée d'acide carbonique, donne par lixiviation une dissolution de carbonate de soude et un résidu insoluble de sulfure de fer. Le résidu des lavages, le sulfure de fer recueilli sur une surface poreuse, est calciné sur la sole d'un fourneau à reverbère, il se déshydrate, il s'enflamme, devient incandescent, dégage des torrents d'acide sulfureux, et se transforme en oxyde de fer. L'acide sulfureux dirigé dans des chambres de plomb, est transformé en acide sulfurique, et l'oxyde de fer est employé à de nouvelles opérations.

On peut encore fabriquer la soude, en faisant réagir le carbonate d'ammoniaque sur le chlorure de sodium. M. Turck, propose de mélanger des dissolutions de sel marin et de bicarbonate d'ammoniaque; du chlorhydrate d'ammoniaque prend naissance, et il se forme en même temps un précipité de bicarbonate de soude. Ce sel, purifié par des lavages méthodiques, est amené par la calcination à l'état de sel de soude, titrant 90 et 95 degrés.

M. Schlœsing fait arriver dans une solution de sel marin un courant de gaz ammoniac et un courant d'acide carbonique ; il se forme ainsi dans le sein de la liqueur du bicarbonate d'ammoniaque qui réagit comme dans le procédé précédant sur le sel marin.

Tont récemment M. Walter Welden[1] s'exprime à peu près ainsi au sujet d'une nouvelle préparation :

On introduit dans un appareil spécial, capable de résister à une certaine pression, de la magnésie et du sel marin, mélangés équivalent à équivalent, et additionnés d'une petite quantité d'eau. On y fait arriver, au moyen d'une pompe, de l'acide carbo-

[1] *Dingler's Polytechn. Journ.* T. CLXXXI, p. 370.

nique produit par la combustion du charbon. Cet acide carbonique transforme la magnésie en bicarbonate, qui réagit sur le sel marin, et forme du chlorure de magnésium et du bicarbonate de soude. Ce dernier sel peu soluble se précipite ; on le recueille, et on le transforme en carbonate de soude par l'action d'une chaleur modérée. Quant à la solution de chlorure de magnésium, elle est évaporée, et le résidu calciné régénère la magnésie.

On a encore proposé de fabriquer la soude au moyen de la cryolithe (fluorure double de sodium et d'aluminium) en la faisant bouillir avec de la chaux vive. Il se forme du fluorure de calcium insoluble et de la soude caustique soluble, tandis que l'alumine est en partie précipitée par la chaux et en partie dissoute par l'alcali. On fait passer un courant d'acide carbonique dans la solution alumino-sodique, l'alumine est précipitée, et il se forme du carbonate de soude [1].

Toutes ces réactions sont évidemment fort ingénieuses, mais elles offrent toutes, hormis celle qu'a étudié M. Kopp, qui mérite une attention particulière, une plus ou moins grande complication de main-d'œuvre, et exigent des matières premières moins abondantes, moins communes que la craie et que le charbon. Il est certain que si nous n'avions à notre disposition que les procédés de ces divers inventeurs, et que Leblanc vint annoncer au monde industriel sa découverte, elle serait acclamée comme la plus belle et la plus fructueuse.

[1] La liste des nouveaux procédés proposés depuis quelques années est inépuisable. Voici ceux que nos lecteurs pourront examiner :

1° Transformation du chlorure de sodium en soude,

Au moyen du pyrophosphate de plomb ou de zinc, par M. Margueritte (*Lond. Journ*, 1855);

Au moyen de la silice, par MM. Tilghmann et Fritzsche (brevet 11556, 1er février 1847).

2° Transformation du sel marin en sulfate de soude sans l'intervention de l'acide sulfurique,

Au moyen du sulfate de magnésie, M. Ramon de Luna (*Ann. chim. pharm.*, XCVI, 104), MM. Pelouze et Kuhlmann (brevet du 11 avril 1850) ;

Au moyen du sulfate de magnésie ou de chaux et de sels de plomb, M. Margueritte (Comptes rendus, I, 760) ;

Au moyen des pyrites de fer, M. Longmaid (Rapport des jurés, 1851, p. 41).

3° Transformation du sulfate en carbonate de soude,

Au moyen d'agents réducteurs et d'oxyde de cuivre (Comptes rendus, XVII, 648).

Certes, il est louable de chercher des procédés plus complets encore que celui de Leblanc. Mais ne vaudrait-il pas mieux s'efforcer de perfectionner la méthode déjà si remarquable qui fournit de si beaux résultats, que d'improviser des réactions, qui sont plutôt d'habiles déductions chimiques que des procédés véritablement industriels. Le problème de l'utilisation des résidus des fabriques à soude qu'il nous reste encore à examiner, offre au chercheur un vaste champ d'investigations minutieuses, et la découverte complète de sa solution serait un vrai titre de gloire.

IV

Utilisation des résidus de la fabrication de la soude artificielle et des industries qui s'y rattachent. — Importance du problème. — Extraction du soufre des charrées de soude. — Travaux de M. Émile Kopp.

Dans la plupart des fabrications, la question des résidus est de la plus haute importance ; mais pour la soude artificielle, le problème, bien plus sérieux encore, exige une attention toute spéciale. C'est un problème multiple, car la transformation du sel marin en carbonate de soude nécessite une longue série d'opérations qui correspondent à des industries spéciales, ayant chacune ses résidus propres. Pour obtenir la soude, nous savons que le sel marin est d'abord traité par l'acide sulfurique ; en même temps que du sulfate de soude, il se produit de l'acide chlorhydrique. — Cet acide est un premier résidu qu'il faut éliminer. — Le sulfate de soude formé se métamorphose en carbonate ; mais après lixiviation de la soude brute, on obtient, comme nous l'avons vu, un nouveau résidu, la *charrée* de soude, essentiellement composée de sulfure de calcium, de chaux, de carbonate de chaux, de sulfure de sodium et de sulfure de fer.

Le premier résidu, l'acide chlorhydrique est employé à la fabrication du chlorure de chaux, ou ce qui revient au même à la préparation du chlore. Mais le problème est détourné et non résolu. En effet, pour obtenir le chlore, on fait agir l'acide chlorhydrique sur le peroxyde de manganèse, et on obtient forcément de nouveaux résidus qui représentent par jour des milliers de tonnes de chlorure de manganèse et de fer. Ces liquides sont cause des plus graves embarras. Que faire de ces résidus acides et méphitiques ?

—Les enfouir dans le sol? — Ils se mêlent aux cours d'eaux, et produisent dans les environs de sérieux dommages, en provoquant des plaintes très-légitimes, et des réclamations très-justifiées. Il est donc indispensable de procéder à leur dénaturation et de les rendre inactifs.

Nous avons dit que la soudière produit encore chaque jour des milliers de kilogrammes de charrées de soude, qui s'amoncellent bientôt en une véritable montagne artificielle. Il n'existe pas, il est vrai, ici de cause d'insalubrité ; pas d'émanations gazeuses, pas d'infiltrations dans le sol ; mais ces amas de résidus renferment dans leur sein des monceaux de sulfure de calcium et par conséquent du *soufre* qui, après avoir servi à former l'acide sulfurique, se trouve perdu pour l'industrie. Des richesses latentes séjournent inutilement donc dans ces immenses blocs qui avoisinent les soudières. Comment les utiliser?

Les propositions abondent, les procédés pullulent, et le nombre des méthodes successivement imaginées affirme l'urgence d'une solution[1]; mais celle-ci ne s'improvise pas et le problème mérite une attention soutenue; c'est une équation complexe, dont les inconnues multiples ne peuvent être éliminées que par une suite d'expériences minutieuses.

Extraire le soufre des charrées de soude, ou trouver un emploi aux résidus, telle est la question à deux faces qui a été l'objet des plus persévérants et des plus infructueux efforts. Extraire le soufre fut inutilement tenté par un grand nombre de chimistes habiles. Trouver une application directe aux charrées semblait plus praticable; mais MM. Kuhlmann[2], Kopp[3], etc., après de patientes recherches, devaient bientôt s'apercevoir que leurs méthodes ne répondaient pas à leurs espérances.

N'y aurait-il pas possibilité de remédier au mal, en cessant de produire ce résidu? Peut-être, mais alors il faut bouleverser le procédé actuel, renoncer momentanément à la fabrication de Leblanc, s'aventurer dans un labyrinthe de recherches, et s'en-

[1] Deacon (*Dingl's Pol. Journ.*, 1849). — Warrentropp (*idem*, CLVIII, 420). — Townsend et Walker (brevet 1860). — Mond (brevet 1862). — Favre (brevet 1855), etc., etc. Rapport sur les produits chimiques de l'exposition de Londres en 1862.

[2] *Répertoire de chim. appliq.*, III, 290.

[3] *Bull. indust. de Mulhouse.*

gager dans des chemins sans issues. N'est-il pas préférable, puisque l'extraction du soufre a été vainement tentée, d'utiliser directement les résidus? M. Ward[1] a proposé de l'employer comme engrais, après l'avoir soumis à une oxydation au contact de l'air, mais dans ces circonstances le produit n'acquiert qu'une bien insignifiante valeur.

Cette année, cependant, un chimiste distingué, un industriel de mérite, dont nous avons déjà parlé dans ce travail, M. Émile Kopp, a publié un long et remarquable mémoire[2] sur cette intéressante question.

Le premier résidu, comme nous l'avons dit, est l'acide chlorhydrique ; immédiatement mis en contact avec le peroxyde de manganèse, il donne du chlore, servant à produire le chlorure de chaux, mais on obtient du même coup un nouveau résidu très-abondant, qui présente habituellement la composition suivante :

Chlorure de manganèse	24,70
— de fer	2,50
— de baryum	1,30
Chlore libre	0,07
Acide chlorhydrique libre	3,60
Eau	67,83
	100,000

Le premier traitement de cette liqueur a pour but de dégager le chlore libre, et de ramener à l'état de protochlorure le sesquichlorure de manganèse et le perchlorure de fer. On y arrive en introduisant dans le liquide le résidu de la fabrique de soude, le marc de soude lessivé. L'idée est, on le voit, originale et hardie, puisqu'elle tend à utiliser l'un par l'autre les deux résidus séparément inertes et gênants. Le sulfure de calcium et le carbonate de chaux sont vivement attaqués par l'acide chlorhydrique ; il en résulte un dégagement d'acide sulfhydrique et d'acide carbonique. Mais l'hydrogène sulfuré est décomposé, soit par le chlore libre, soit par le sesquichlorure de fer et de manganèse ; son hydrogène se combine au chlore en donnant l'acide chlorhydrique, et son autre élément constituant le soufre est mis en liberté ; il se rassemble bientôt en gros flocons qui se déposent au fond du liquide

[1] *Essay on artificial manures.* Birmingham, 1848.
[2] *Annales de physique et de chimie*, 4e série, 1866, t. VII, p. 5.

devenu clair ; celui-ci est séparé par décantation au moyen d'un siphon. Le soufre, recueilli sur un filtre spécial, est exposé pendant plusieurs mois à l'action de la pluie et de la rosée, qui achèvent le lavage. Pendant l'été il se dessèche suffisamment pour être brûlé, et contient alors 60 pour 100 de soufre pur. On peut activer la purification du soufre par des lavages artificiels et par sa fusion dans des chaudières. D'après des expériences précises, M. Kopp a calculé que 10,000 litres de résidus pouvaient fournir 36 kilogrammes de soufre.

Revenons à présent au liquide acide, qui a été siphoné dans une citerne. Ce liquide contient de l'acide chlorhydrique, provenant de la décomposition de l'acide sulfhydrique, des chlorures de manganèse, de fer, de baryum, de calcium, etc. — Le chlorure de baryum se dépose en cristaux, qui sont séparés par la décantation de la liqueur. On ajoute à celle-ci de nouvelles proportions de charrées de soude, et il se produit encore de l'acide sulfhydrique et de l'acide carbonique. On fait passer le mélange des deux gaz à travers de nouvelles quantités de charrée de soude ; sous l'influence de l'humidité, l'acide carbonique décompose le sulfure de calcium, et donne naissance à du carbonate de chaux[1] et à une nouvelle quantité d'hydrogène sulfuré, qui par la combustion, se transforme dans des appareils brûleurs en eau et en acide sulfureux[2], qui peut être employé à fabriquer des hyposulfites de soude ou de chaux ou bien encore en eau et en soufre par une combustion incomplète[3].

L'appareil à combustion est en fonte ; le gaz amené par un tube, brûle au milieu d'un courant d'air, dont on peut ménager à volonté l'entrée, de manière à produire une combustion complète ou incomplète. Le soufre se dépose sur les parois de la caisse de fonte, sous forme de flocons, qui adhèrent entre eux et ne tardent pas à former des plaques minces et résistantes.

Voilà donc les produits gazeux, dégagés par l'action des charrées de soude sur les résidus de chlore, utilisés ; mais il nous reste encore une solution à peu près neutre de chlorures de manganèse, de fer et de chaux ; elle peut être à la rigueur déversée dans le

[1] $CaS + HO = CO^2CaO + HS$.
[2] $HS + O^3 = HO + SO^2$.
[3] $HS + O = HO + S$.

canal de dérivation de l'usine, et être rejetée en dehors, mais il est préférable de la mettre en contact avec une certaine quantité de gravois de chaux hydratée. On décompose ainsi une notable proportion de chlorure de manganèse et de chlorure de fer, qui se précipitent à l'état d'oxydes, et on obtient alors une liqueur complétement neutre, qui ne peut plus exercer aucun effet nuisible sur la végétation.

On peut encore évaporer à sec cette solution au-dessus de chaleurs perdues, et fondre ensuite le résidu dans un four à réverbère. On obtient ainsi un mélange de chlorure de manganèse, de chlorure de calcium et d'oxyde de fer qui peut être employé comme fondant purificateur dans les fours à puddler, ou mieux encore dans des hauts fourneaux où se traitent les minerais de fer impurs, ne produisant que des fontes médiocres. La fonte se trouverait améliorée par la présence du manganèse, qui remplacerait ainsi le manganèse naturel des minerais de fer aciéreux.

Par ces méthodes d'épuration on utilise une grande quantité des charrées de soude, mais la totalité de l'acide chlorhydrique produit par l'action de l'acide sulfurique sur le sel marin est insuffisante pour décomposer la totalité des résidus. C'est à peine si un tiers de ceux-ci peut être éliminé. — Que faire des autres tiers de résidus?

Ici M. Kopp revient sur une méthode déjà proposée ; c'est par l'action de l'air, qu'il arrive à utiliser le marc de soude.

Oxydée au contact de l'air, la partie solide de la charrée donne un amendement qui convient, dit-on, aux terrains humides, marécageux et acides un liquide de drainage, jaune, alcalin, sulfuré, qui s'échappe des amas de charrée, et qui cause de véritables dommages quand il se mêle, en s'infiltrant dans le sol, aux cours d'eau naturels. Cette liqueur surtout formée de polysulfures variées, d'hyposulfites de chaux et de soude, etc., peut être mélangée aux chlorures de maganèse et de fer que l'on retire des appareils à dégagement d'hydrogène sulfuré. On obtient un précipité de sulfure de manganèse, de sulfure de fer et de soufre libre, ce précipité recueilli sur un filtre, est ensuite brûlé dans les fours à pyrites et fournit l'acide sulfureux nécessaire à la fabrication de l'acide sulfurique. On obtient en outre une solution d'hyposulfites, de chlorure de calcium, et de sels qui peuvent être séparés et mis à profit.

Pendant l'éte il est préférable d'oxyder au contact de l'air, cette liqueur de drainage.

On la fait couler dans des bassins très-larges et peu profonds : Sous l'influence des rayons solaires, l'oxydation marche assez rapidement. Les polysulfures de calcium et de sodium se métamorphosent en hyposulfites, et abandonnent une petite quantité de soufre libre qui se précipite avec du sulfate et du carbonate de chaux. On filtre et on traite la liqueur par une solution concentrée de sulfate de soude, correspondant à la quantité d'hyposulfite de chaux qu'elle contient ; on recueille le sulfate de chaux précipité, et la nouvelle solution laisse déposer après évaporation de l'hyposulfite de soude, qui peut être purifié par de nouvelles cristallisations et livré au commerce,

Telles sont, en abrégé, les diverses opérations proposées par M. Kopp pour tirer parti des résidus des fabriques à soude. Il y a certainement lieu d'admirer toute cette prodigieuse suite de déductions habiles, d'expériences multipliées, d'investigations nombreuses ; mais la solution de l'important problème, ainsi comprise, offre une bien grande complication. Que d'appareils elle nécessite, que de manipulations, que de soins ! Toute cette série de travaux assidus pourront-ils se traduire par un bénéfice? la vente des matières extraites compensera-t-elle les frais de main-d'œuvre? Nous en doutons, et d'après des renseignements qui nous ont été fournis par quelques fabricants, le soufre extrait du résidu des soudières, est, paraît-il, beaucoup plus coûteux que le soufre de Sicile. Toutefois, nous voulons nous garder de prononcer un jugement prématuré ; il faut attendre la consécration de la pratique industrielle et des expériences de l'usine.

La longue patience dont M. Kopp a fait preuve, le rare esprit d'investigation qu'il a dévoilé, permettent d'espérer que si quelques points sont encore défectueux, ils ne tarderont pas à disparaître.

GASTON TISSANDIER.

II

LA NITRO-GLYCÉRINE

Il semble que l'indifférence que témoigne l'azote pour les substances variées avec lesquelles on le met en contact persiste en-

core dans ses combinaisons; il se sépare violemment des corps avec lesquels il est uni, en donnant naissance à de violentes détonations. L'acide azotique anhydre est tellement détonant, qu'il est impossible de le conserver; le chlorure d'azote, étudié par Dulong, l'iodure d'azote, de Gay-Lussac, sont éminemment explosibles. Enfin l'acide azotique communique même ses propriétés violentes aux substances organiques avec lesquelles il s'unit. La poudre fulminante, dont on fait usage dans les capsules, est un produit nitré; le coton-poudre s'obtient en attaquant la cellulose par l'acide azotique concentré, et la poudre ordinaire renferme des nitrates. Nous n'avons donc pas lieu d'être surpris si la matière obtenue en traitant la glycérine, cet alcool triatomique[1] qui existe dans tous les corps gras, par l'acide azotique, est encore explosive et peut être utilisée dans les travaux de mines[2].

Le transport de la nitro-glycérine est dangereux et peut déterminer de graves accidents, ainsi qu'on l'a vu à San-Francisco et à Aspinwall. On assure cependant que, en mêlant la nitro-glycérine à l'esprit de bois, on arrive à la priver de ses propriétés explosibles. Il est aisé, au reste, de séparer les deux liquides l'un de l'autre à l'aide de l'eau, qui dissout l'esprit de bois et précipite la nitro-glycérine. Quoi qu'il en soit, la fabrication de la nitro-glycérine est tellement aisée, qu'elle peut toujours avoir lieu aux endroits mêmes où elle doit être employée; on doit tout simplement préparer un mélange d'acide nitrique et sulfurique concentrés; puis y verser de la glycérine sirupeuse, en ayant soin de refroidir extérieurement le vase dans lequel on opère. En jetant le produit dans l'eau, on sépare facilement la nitro-glycérine sous forme d'un liquide lourd et huileux. La nitro-glycérine pure n'est pas très-explosible et peut être maniée sans dangers; mais, « impure et acide, elle se décompose spontanément avec dégagement de gaz. Il est probable que c'est à une pareille cause que sont dues les explosions spontanées de nitro-glycérine dont les journaux nous ont fait connaître les effets désastreux. La nitro-glycérine étant renfermée dans des bouteilles bien bouchées, les gaz pro-

[1] Voyez *Annuaire scientifique*, 2e année, page 91.

[2] La nitro-glycérine se formule $C^6H^53(AzO^4)O^6$; on voit qu'elle représen tela glycérine $C^6H^8O^6$ dans laquelle 3 parties d'hydrogène ont été remplacées par 3 parties d'acide hypoazotique.

duits par sa décomposition spontanée ne pouvaient se dégager ; ils exerçaient donc une très-forte pression sur la nitro-glycérine, et, dans ces conditions, le moindre choc et le plus léger ébranlement pouvaient déterminer l'explosion [1]. » La nitro-glycérine est vénéneuse; en très-petites doses, elle produit des maux de tête. Sa vapeur produit des effets analogues, et cette circonstance pourrait bien être un obstacle à l'emploi de la nitro-glycérine dans les mines.

La nitro-glycérine a été surtout employée pour l'exploitation des carrières. Voici comment on opère dans les carrières de grès de la vallée de la Zorn (Bas-Rhin) : « A $2^m,50$ ou 3 mètres de distance du rebord extérieur, on perce un trou de mine d'environ 5 à 6 centimètres de diamètre et de 2 à 3 mètres de profondeur. Après avoir débarrassé ce trou *grosso modo* de boue, d'eau et de sable, on y verse, au moyen d'un entonnoir, de 1,500 à 2,000 grammes de nitro-glycérine; on y fait ensuite descendre un petit cylindre en bois, en carton ou en fer-blanc, d'environ 4 centimètres de diamètre, de 5 à 6 centimètres de haut, rempli de poudre ordinaire. Ce cylindre est fixé à une mèche ou fusée de mine ordinaire, qui y pénètre à une certaine profondeur pour assurer l'inflammation de la poudre. C'est au moyen de la mèche ou fusée qu'on fait descendre le cylindre, et le tact permet de saisir facilement le moment où le cylindre arrive à la surface de la nitro-glycérine. » On remplit le trou de sable, et, après avoir coupé la mèche à quelques centimètres de l'orifice du trou, on met le feu. Bientôt la poudre s'enflamme; « il en résulte un choc violent qui fait détoner instantanément la nitro-glycérine. L'explosion est si subite, que le sable n'a jamais le temps d'être projeté. On voit toute la masse du rocher se soulever, se déplacer, puis se rasseoir tranquillement sans aucune projection ; on entend une détonation sourde. Ce n'est qu'en arrivant sur les lieux qu'on peut se rendre compte de la puissance de l'explosion. Des masses formidables de roc se trouvent légèrement déplacées et fissurées dans tous les sens, et prêtes à être débitées mécaniquement; la pierre n'est, au reste, que peu broyée, et il n'y a que peu de déchet. »

P. P. Dehérain.

[1] E. Kopp. — Sur l'emploi de la nitro-glycérine dans les carrières de grès vosgien, près de Saverne. *Comptes rendus*, tome LXIII. — 1866, p. 189.

MÉDECINE ET HYGIÈNE PUBLIQUE

I

TRICHINES ET TRICHINOSE.

Histoire de la découverte de la trichine. — Mission française. — Classification. — Anatomie. — Physiologie. — Multiplication des trichines. — Immigration des larves. — Durée de la maladie. — Action des moyens physiques et chimiques sur la trichine. — Espèces animales susceptibles d'être infectées. — Trichinose chez l'homme. — Symptômes. — Épidémie allemande. — Traitement. — Cause de la trichinose du porc. — Examen de la viande trichinée.

On ne trouverait peut-être pas de preuve plus convaincante des progrès accomplis par la méthode scientifique qui caractérise les recherches médicales modernes, que l'histoire de la maladie récemment découverte de la *trichinose* et qui tire son nom de la cause qui la détermine.

En effet, grâces à des observateurs attentifs, aussi remarquables par la rectitude de leur esprit que par l'habileté patiente et rigoureuse de leurs recherches, le tableau de cette maladie, qui se relie aux problèmes les plus délicats de la zoologie, de la pathologie humaine et de l'hygiène publique a été construit en un temps très-court, et toutes les questions qui s'y rattachent ont été tellement épuisées qu'il ne renferme pour ainsi dire plus aucune obscurité ; on pourrait presque affirmer que quoique étant la plus récemment découverte, la trichinose est déjà une des maladies les mieux connues.

Ce n'est pas la première fois que le lecteur trouve dans ce recueil quelques renseignements sur la trichine et la trichinose : il n'a pas oublié sans doute l'esquisse si nette, qui en a été tracée par M. Vigne dans l'Annuaire de 1864.

Depuis cette époque, des faits nouveaux sont venus s'ajouter à ceux signalés par notre savant collaborateur, qui avait traité

la question zoologique. Aujourd'hui c'est devant une grande question d'hygiène publique et d'économie sociale qu'on est placé; la sécurité des populations qui se nourrissent presque exclusivement de viande de porc tant en France qu'ailleurs est en jeu, en même temps que la prospérité locale qui peut résulter de l'élève du porc et du trafic de sa chair.

L'alarme bien légitime produite l'année dernière en Allemagne par les accidents nombreux occasionnés par la trichinose humaine, a ému le gouvernement français, qui s'est décidé à confier à deux savants très-distingués, membres de l'Académie de médecine, M. le docteur Delpech et M. Raynal, le soin d'aller étudier la question sur les lieux mêmes où se sont passés les derniers événements.

Le résultat de cette mission a été consigné par M. Delpech dans un rapport lu à l'Académie de médecine dans la séance du 16 mai 1866. Ce remarquable document est l'expression dernière de l'état de la question et a servi largement dans l'esquisse qui va suivre.

Avant de parler de la maladie, examinons rapidement quelle en est la cause. C'est la trichine (*trichina spiralis*, cheveu enroulé), nématoïde microscopique dont la découverte dans les muscles de l'homme remonte à 1833.

Le 22 janvier 1833, M. Hilton entretint la Société médico-chirurgicale de Londres d'un aspect particulier des muscles rencontré sur le cadavre d'un vieillard, déterminé par des corpuscules ovales disséminés entre les fibres musculaires, et qu'il prit pour une variété de cysticerque. En 1835, Paget rencontra un fait analogue, et soumit à l'examen de Richard Owen des fragments musculaires; celui-ci reconnut et décrivit en avril 1835 l'animal enkysté, et lui donna le nom de *trichina spiralis*, qu'il a conservé.

Depuis lors l'existence des trichines libres ou enkystées a été constatée souvent à l'autopsie chez l'homme, notamment par Virchow, Leuckart, Kuchenmeister, etc., qui ont donné des descriptions complètes de son aspect et de sa structure.

Le rôle physiologique de la trichine était cependant resté obscur. Était-ce l'expression dernière de la transformation d'un animal, en était-ce le commencement?

La question en était là, lorsque, en 1860, Zenker constata, à l'autopsie d'une jeune fille, l'existence d'un grand nombre de tri-

chines libres et vivantes dans les muscles. La maladie à laquelle avait succombé le sujet avait été accompagnée de symptômes bizarres, que le médecin de Dresde n'hésita pas à mettre sur le compte de l'infection parasitaire, et il donna le nom de trichinose à cette maladie nouvelle.

Ce fait fut à peine publié que de tous côtés on en signala d'identiques en Allemagne. Des travaux remarquables se succédèrent, parmi lesquels il faut citer surtout celui de MM. Fuchs et Pagenstecher, qui peut être considéré comme le traité classique sur la matière.

De la trichine et de son développement. — La trichine a été rangée dans le groupe des nématoïdes ; c'est un de ces entozoaires qui ne peuvent parcourir leur transformation qu'à la condition d'habiter successivement deux animaux appartenant, soit à la même espèce, soit à des espèces différentes.

Né chez un premier animal, elle y resterait stérile si elle ne passait par le canal intestinal d'un second, où alors seulement elle prend des caractères sexuels et se multiplie ; il y a donc lieu d'étudier séparément la trichine musculaire ou trichine fixe et la trichine intestinale ou mobile.

La trichine a été rencontrée chez l'homme et chez les animaux dans tous les muscles à l'exception de ceux du cœur; elle est fixée entre les dernières divisions de la fibre musculaire et s'y enveloppe d'une coque blanche assez résistante. Dans l'intérieur de ce petit kyste le ver parasitaire est enroulé en forme de ressort de montre et n'y exécute que des mouvements fort restreints. La longueur de l'animal développé peut atteindre 1 millimètre ; une extrémité effilée correspond à la bouche, l'autre obtuse à l'anus, le tube digestif s'étend d'une extrémité à l'autre ; le kyste est infiltré de sels calcaires que dissout l'acide acétique. Quand un animal a avalé de la chair musculaire ainsi infiltrée de trichines enkystées, les phénomènes suivants se produisent :

Le kyste est dissous par le suc gastrique, tandis que la trichine qu'il renferme n'en éprouve aucune atteinte ; libre dès lors dans le canal intestinal, elle prend un accroissement rapide et peut atteindre jusqu'à 3 millimètres; les femelles sont plus longues que les mâles ; à cet état, les trichines s'aperçoivent facilement à l'œil nu sous forme de petits fils blancs qui nagent dans le liquide intestinal.

Au bout de quatre jours, d'après les expériences de Leuckart, l'organisation sexuelle est accomplie. Le nombre des femelles est à peu près décuple de celui des mâles. La ponte des femelles commence au cinquième jour et se poursuit pendant plusieurs semaines; les embryons naissent vivants; chaque femelle donne naissance à environ 1,000 larves. Après la ponte les trichines adultes mâles et femelles meurent et sont rejetées avec les matières intestinales.

Immigration des larves. — Celles-ci ont, au moment de leur naissance, huit à douze centièmes de millimètre de longueur. Libres dans l'intestin, elles en perforent les parois et se portent dans les muscles; comme on n'en a jamais rencontré dans les vaisseaux, on admet que le mouvement circulatoire est étranger à leur migration et qu'elles se transportent par un mouvement propre de proche en proche. Arrivées dans les interstices des fibres musculaires, les larves s'y enroulent, puis s'y enkystent et peuvent rester vivantes et pourvues de leurs aptitudes de reproduction pendant de longues années; ainsi, vers la fin de janvier 1865, on a rencontré des trichines vivantes dans leur kyste, sur le cadavre d'un individu qui avait présenté des accidents de trichinose en 1861, et des animaux à qui on fit manger de cette chair furent infectés.

Tout récemment, Mideldorpff a trouvé dans une tumeur enlevée à un malade et développée au-dessus du muscle pectoral, des trichines enkystées et vivantes; le malade avait présenté des symptômes de trichinose vingt-quatre ans auparavant. Ce fait oblige à admettre que ces parasites peuvent vivre au moins un quart de siècle sans donner lieu à des troubles particuliers, à condition de s'être séquestrés dans leur petite tombe calcaire.

Les expériences qu'on a tentées pour déterminer exactement leur force de résistance, font comprendre cette ténacité vitale.

Rupprecht s'est assuré que des trichines enkystées avaient conservé leurs mouvements après avoir été exposées pendant douze heures à une température de — 25° centigrades; et Leuckart a infecté un lapin avec de la chair trichinée soumise pendant soixante-douze heures à un froid de 26°. On a retrouvé également des trichines vivantes dans de la viande enterrée pendant cinq jours dans un sol à + 28°.

L'eau semble être un agent de destruction plus rapide que la

terre ou l'air ; de la viande trichinée maintenue dans l'eau pendant quelques jours ne présente plus que des parasites morts.

Quoique le porc soit l'animal chez lequel la trichinose présente le plus de danger pour l'homme, il n'est pas le seul chez lequel cette maladie s'observe naturellement, mais il est heureusement le seul parmi les animaux dont la viande serve à l'alimentation ; les autres sont principalement le rat, la souris, le chat, le renard, le hérisson, le blaireau et le putois.

La trichinose artificielle, au contraire, est obtenue facilement chez le lapin, la vache et le poulain ; les chiens offrent une grande résistance à l'infection.

Il n'existe qu'un seul exemple de trichinose artificielle chez le mouton ; les résultats ont été négatifs sur toutes les espèces des oiseaux de basse-cour.

Jusqu'à présent on n'a pas trouvé de signe certain qui pût faire reconnaître la trichinose chez un animal vivant ; dans les expériences faites sur les porcs, il est arrivé quelquefois que les animaux ont succombé quelques jours après l'ingestion d'une grande quantité de viande trichinée, mais les symptômes qui ont précédé la mort ont été très-variables ; dans l'immense majorité des cas, les animaux n'ont présenté aucun signe de maladie, et celle-ci n'a pu être découverte qu'après l'abatage.

Dans toutes les épidémies de trichinose qui se sont produites en Allemagne, les bouchers et leur famille ont été les premiers frappés, ce qui démontre leur ignorance de signes qui trahiraient la trichinose pendant la vie de l'animal ; les savants, jusqu'à ce jour, ne sont pas plus avancés qu'eux.

De la trichinose chez l'homme. — Les symptômes qui résultent de l'intoxication trichinienne surviennent, ou bien immédiatement après l'ingestion d'une viande trichinée, ou bien quelque temps plus tard. Dans le premier cas, qui est le plus heureux, la présence de trichines libres dans l'estomac détermine des accidents d'irritation gastro-intestinale, des nausées, des vomissements, de la diarrhée. Cette réaction de l'organisme vivant contre les bataillons de parasites éloigne souvent par leur expulsion, les dangers ultérieurs.

Plus tard, quand les larves ont pénétré dans les muscles, il survient d'autres phénomènes, dont le premier et le plus caractéristique est un gonflement de la face. C'est ordinairement quinze jours

ou trois semaines après l'usage d'une viande trichinée qu'on l'observe ; puis, peu à peu, apparaissent des douleurs causées par l'introduction des trichines dans les divers muscles du tronc et des membres ; les mouvements deviennent extrêmement douloureux, et la pression exercée sur les muscles arrache des cris aux malades ; la langue, qui est un lieu d'élection spécial pour les trichines, grossit considérablement et le développement de son volume empêche la déglutition ; l'infection des muscles du larynx éteint la voix, et celle du diaphragme apporte à la respiration un élément de trouble qui compromet l'existence du malade. La mort survient dans les cas graves, par asphyxie ou bien encore par l'état typhoïde qui semble résulter de l'empoisonnement général de l'organisme. Heureusement, les faits de cette gravité sont les plus rares, et parmi les malades atteints, il n'y en a qu'un petit nombre qui présentent ces derniers symptômes ; ordinairement, et dans les cas heureux, l'infection trichinienne ne se révèle chez l'homme que par le gonflement de la face et les douleurs musculaires.

Voici quelques chiffres qui serviront à faire apprécier le rapport qui existe entre le nombre des malades atteints et celui des victimes.

D'après M. le docteur Reinhard, inspecteur des épidémies en Saxe, on aurait observé dans ce pays, depuis 1860, 156 individus affectés de trichinose ; 6 d'entre eux seulement ont succombé. Mais c'est là une circonstance exceptionnellement heureuse, car dans les épidémies signalées à Hettstaedt et à Hedersleben, il y a eu dans la première 27 décès sur 158 malades, et dans la seconde 82 décès sur 327 malades.

L'épidémie qui a frappé la dernière de ces deux localités est une de celles qui sont le mieux connues ; un aperçu des faits montrera le mécanisme général du développement de cette nouvelle maladie.

Hedersleben est un bourg de 2,000 habitants environ ; à la fin de 1865, le boucher du lieu annonça qu'il avait abattu un porc ; les habitants enlevèrent si rapidement toute la viande de l'animal abattu que plus tard on n'en put retrouver la moindre parcelle pour y constater la trichinose ; mais il n'est pas douteux un seul instant que le porc ait été infecté, car presque tous les individus qui mangèrent cette viande tombèrent malades. La

maladie fut déclarée officiellement après le deuxième cas de mort, car l'examen du cadavre de la victime y démontra l'existence de trichines intestinales et musculaires.

Ce n'est qu'avec un sentiment de regret bien profond que l'on doit avouer que, si tous les points de la transmission et du développement de la trichine, si tous les symptômes qui en révèlent l'existence dans le corps humain sont aujourd'hui parfaitement connus, il est loin d'en être ainsi pour le traitement qu'il convient d'opposer aux accidents que détermine la trichinose. On a étudié avec beaucoup de soin l'action des matières les plus variées sur la viande renfermant des trichines vivantes, sur des animaux trichinés et sur l'homme infecté; la benzine est de tous les agents expérimentés celui qui tue le plus rapidement les trichines dans la viande, mais elles résistent pendant longtemps à l'action d'une solution arsenicale, à l'huile de ricin, à la décoction d'écorce de grenadier, à l'iodure de potassium, etc. Plongées dans une solution concentrée de sel marin, les trichines périssent aussi assez rapidement; mais jusqu'à ce jour, on n'a trouvé aucun agent qui puisse être impunément administré aux animaux ou à l'homme, et qui détruise les trichines dans l'organisme vivant

Si le côté zoologique et pathologique que présente le développement de la trichine offre un intérêt particulier, ses rapports avec l'hygiène publique sont de nature à exciter un intérêt plus puissant encore. Quand on songe en effet à la quantité énorme de viande de porc qui sert à l'alimentation dans toutes les parties du globe, on ne peut, sans une crainte bien légitime, considérer un avenir dans lequel une substance alimentaire si répandue pourrait devenir un poison mortel; on a dû nécessairement se préoccuper avant tout de rechercher les causes qui développent la trichinose chez le porc, et à défaut de leur connaissance, s'appliquer à reconnaître la maladie de ces animaux pendant leur vie, ou l'état pathologique de leur chair après leur mort.

Pour le dire en passant, on ne saurait se refuser à croire que l'anathème absolu dont était frappé le porc par le grand législateur des Juifs ne fût fondé sur la notion, peut-être vague, mais acquise par une expérience ancienne, des dangers que peut présenter l'usage de la viande de l'animal proscrit.

Les causes auxquelles on attribue la trichinose du porc ne sont jus-

qu'à présent qu'à l'état hypothétique ; on les a cherchées dans le règne animal et dans le règne végétal ; un observateur allemand, Schacht, avait cru en découvrir l'origine dans l'existence de petites capsules renfermant un parasite que l'on rencontre à l'extrémité des radicelles des betteraves, mais Virchow a démontré que ces parasites ne ressemblent en aucune façon à la trichine.

Kühne a prouvé également la dissemblance absolue qui existe entre le parasite musculaire qui se développe chez la taupe, et qui avait été présenté comme l'élément de l'infection des porcs, et la trichine.

La cause qui est considérée en ce moment comme déterminant le plus probablement l'infection des porcs, c'est la trichinose spontanée des rats et des souris. Ce dernier fait est absolument démontré et l'on sait avec quelle avidité le porc dévore les cadavres de ces animaux ; mais comme il est impossible d'éviter ce danger on n'entrevoit jusqu'à présent aucun moyen d'empêcher l'infection du porc. C'est donc dans l'état de santé de celui-ci ou, à défaut d'un signe qui puisse faire reconnaître la maladie chez le porc vivant, dans l'examen de la chair de l'animal abattu que doit résider la prophylaxie de la trichinose pour l'homme. Or, on l'a vu déjà, rien ne saurait trahir la trichinose chez le porc vivant ; il s'agit donc d'étudier quelle est la garantie que peut offrir l'examen de sa chair.

Examen de la viande trichinée. — La chair d'un porc trichiné a l'aspect d'une chair absolument saine et le microscope seul peut y faire découvrir les parasites, surtout quand les kystes ne sont pas très-anciens ; dans ce dernier cas on peut quelquefois apercevoir à l'œil nu et sous la forme de petits points blancs l'enveloppe crétacée de la trichine. Mais c'est là un moyen fort précaire. Il faudra donc toujours procéder à l'examen microscopique, qui lui-même exige une certaine habileté et souvent une grande patience, car il existe des cas nombreux où les observateurs n'ont rencontré de trichines qu'après avoir examiné successivement un grand nombre de parcelles enlevées aux différents muscles d'un animal soupçonné. L'examen lui-même est assez simple. On dépose sur une lame de verre des débris de muscles ; avec la pointe d'une aiguille on sépare les fibres primitives et on soumet cette petite préparation à un grossissement d'au moins 20 diamètres.

Si les trichines sont libres elles apparaissent sous la forme d'un ver enroulé ; si elles sont enkystées, on trouve dans les interstices musculaires des capsules foncées.

De tous les muscles, c'est le diaphragme qui semble le plus recherché par les trichines ; aussi peut-on être presque certain que si un examen attentif de fibres musculaires diaphragmatiques ne révèle pas la présence du parasite, il n'en existe pas ailleurs, et l'animal peut être livré à la consommation. Cette règle n'est cependant pas assez absolue pour que les experts puissent se dispenser d'examiner d'autres muscles.

M. le professeur Müller, de Berlin, a étudié d'une façon spéciale l'aptitude que présentent à l'infection trichineuse les différents muscles du porc. Après le diaphragme, ce sont les muscles du larynx, de la langue, le psoas, qui sont le plus pénétrés.

En comptant les trichines qu'il a rencontrées dans des parcelles musculaires diverses pesant exactement 6 centigrammes, il est arrivé à établir qu'un kilogramme de viande de porc trichinée renferme environ 733,000 parasites.

Jusqu'à présent la trichinose n'a été rencontrée chez l'homme que trois fois en France, et dans aucun de ces cas on n'a su quelle en était l'origine.

Sur la chair des porcs français elle n'a pas été rencontrée une seule fois, malgré des recherches nombreuses, en tête desquelles il faut placer celles dont M. Rabot, pharmacien à Versailles, a entretenu l'Académie de médecine dans la séance du 3 avril dernier. M. Rabot a examiné 650 échantillons de charcuterie françaises sans trouver une seule fois l'infection trichineuse.

A Paris, les rats des abattoirs examinés par MM. Raynal et Delpech n'ont pas davantage offert d'exemple de trichinose.

On le voit, jusqu'à ce jour il n'existe en France aucune des raisons qui ont répandu une si légitime alarme en Allemagne et y ont déterminé les gouvernements, sous l'autorité desquels des épidémies de trichinose s'étaient produites, à ne permettre que la vente de chair de porc examinée par des experts spécialement institués pour cet office.

Mais cette situation, heureuse pour notre pays, peut être modifiée d'un jour à l'autre, et l'on ne saurait trop louer la sollicitude du gouvernement français qui, dans cette circonstance, s'est armé,

par le concours si éclairé de deux savants, MM. Delpech et Raynal, de tous les moyens propres à éteindre dès le début le mal, si jamais il venait à se manifester.

Dr Jules Worms.

II

LE CHOLÉRA EN 1866.

Mortalité en 1866. — Diarrhée prémonitoire. — Rapport de M. Besnier à la Société des hôpitaux de Paris. — Expériences thermométriques. — Théorie de M. le Dr Marey. — Traitement. — Mode de propagation. — Opinion contagioniste de la conférence internationale.

Le choléra n'a pour ainsi dire pas cessé de régner l'année dernière. Presque toute l'Europe a été envahie. La France et la Belgique ont été particulièrement éprouvées. Comme on ne connaît jusqu'à ce jour que des chiffres partiels, il est impossible de rien préjuger sur le rapport entre le nombre des personnes atteintes et celui des victimes. Ce qui ressort des rapports particuliers et notamment de ceux qui ont été publiés par les médecins des hôpitaux de Paris, c'est qu'en général, la maladie a affecté une forme très-grave. La mortalité a dépassé 50 pour cent. Le nombre des cas où les symptômes du choléra confirmé se sont montrés d'emblée et sans signes précurseurs, a été plus considérable que dans les épidémies antérieures ; on peut l'évaluer à un tiers des cas.

C'est là un fait d'une importance telle, que pour dissiper une sécurité trompeuse qu'il serait dangereux de laisser subsister, il est utile de mettre sous les yeux du lecteur les éléments de cette question, tels que le savant rapporteur de la Commission de statistique médicale, M. le docteur Besnier, les a présentés dans la séance de la Société des hôpitaux de Paris le 12 octobre dernier :

« *Diarrhée prémonitoire.* — Ce symptôme, qui serait dénommé plus justement *diarrhée prodromique*, est certainement moins constant qu'on ne le pense généralement, comme le prouve la statistique suivante : sur 200 malades, M. Heurteloup l'a vue manquer 89 fois. M. Mesnet, sur 34 cas, a vu le choléra s'établir

22 fois d'emblée. A Saint-Louis, dans le service de M. Hardy, 4 malades ont été pris brusquement. M. Oulmont, à Lariboisière, sur 50 malades, signale la diarrhée initiale comme ayant manqué 18 fois. Enfin à Necker, M. Potain, sur 25 malades, note que 12 n'ont présenté aucun prodrome, et il spécifie que 2 fois le choléra a débuté par des crampes; les vomissements et la diarrhée ne sont survenus qu'une heure ou deux plus tard.

Cette soudaineté des accidents, qu'on serait tenté de considérer comme un caractère distinctif de l'épidémie actuelle, s'est également montrée dans les épidémies précédentes. En effet, d'après le rapport de M. Blondel sur l'épidémie de 1853-1854, la diarrhée prémonitoire s'est montrée 4,359 fois sur 4,740 malades. Au premier abord, ces chiffres paraissent concluants; mais si l'on entre dans le détail, on trouve que sur ces 4,359 malades, 2,491 « avaient ressenti de la diarrhée *un jour seulement avant l'entrée à l'hôpital.* » Or, l'entrée à l'hôpital ne veut pas dire le début de la maladie, et la seule conclusion logique à tirer de ces chiffres est que, dans plus de la moitié des cas, la diarrhée avait devancé de si peu de temps les accidents graves, qu'il serait abusif de voir un phénomène *prémonitoire* là où il ne s'agit évidemment que de la première manifestation de l'intoxication cholérique. Il reste donc 1,868 malades seulement sur 4,740 ayant eu une diarrhée réellement prémonitoire, c'est-à-dire existant depuis un à deux jours et plus, avant le début des accidents graves.

En résumé, l'épidémie de 1866 démontre que la diarrhée prémonitoire est loin d'être aussi fréquente qu'on se plaisait à le croire. D'un autre autre côté, si les malades atteints de diarrhée liée à divers états morbides, comme la phthisie, sont très-prédisposés aux atteintes cholériques, les exceptions sont assez nombreuses. Enfin, si l'on voit très-souvent la thérapeutique agir avec succès dans les cas de diarrhée si nombreux qui accompagnent une épidémie cholérique, il est encore douteux que la thérapeutique ait autant de puissance dans les cas de diarrhée véritablement *prodromique*, c'est-à-dire lorsqu'elle est la première manifestation d'une intoxication cholérique qui doit la suivre à courte échéance. Pour avoir des notions plus exactes à ce sujet, il aurait fallu préciser numériquement les cas dans lesquels la diarrhée a été traitée, et ceux dans lesquels elle a été abandonnée à elle-même. »

L'épidémie actuelle a été le sujet de travaux très-nombreux sur la symptomatologie, la pathogénésie, le traitement et le mode de propagation de la maladie.

Les modifications que subit la chaleur pendant le choléra ont été l'objet de nouvelles recherches faites par M. Charcot, médecin de la Salpétrière. Il a constaté, ainsi que l'avaient déjà fait observer Sandras et Doyère, que loin de s'abaisser, la chaleur centrale s'élève. Il semblerait que par le relentissement que subit la circulation périphérique, le calorique s'accumule près des sources de sa production et que l'équilibre ne s'établit pas. Le type de la température normale étant de 37°,50, M. Charcot a trouvé dans le rectum la température que voici sur 10 malades qui ont été soumis à cette expérience :

76 ans	38°,2	84 ans	37°,8
69	40°,2	85	36°,2
53	38°,2	38	38°,2
82	38°,4	74	39°,6
47	36°,5	30	38°,2

La température périphérique perd en moyenne les 2 ou 3 degrés que la température centrale gagne.

Ces phénomènes, unis à l'ensemble des symptômes du choléra, ont conduit un savant physiologiste bien connu de nos lecteurs, M. le docteur Marey, et un médecin distingué dont la science déplore la mort récente et prématurée, M. le docteur Cahen, à édifier une théorie physiologique du choléra.

Pour M. Marey, le premier stade du choléra, l'algidité, se traduit par l'action exagérée du grand sympathique, et le second, le stade de chaleur, par l'épuisement de ce nerf, et par le relâchement des tissus qu'il anime. On sait en effet que l'action exagérée des nerfs vaso-moteurs, qui proviennent du grand sympathique, enlacent le système vasculaire et lui donnent la contractilité normale, détermine un resserrement des vaisseaux. Sous cette influence se produiraient les phénomènes de diminution de volume du corps, si frappante dans l'algidité cholérique, pendant laquelle on voit presque à vue d'œil les doigts s'amincir, le nez s'effiler, les yeux se retirer dans l'orbite.

La turgescence qui accompagne la réaction serait un phénomène de paralysie des filets du grand sympathique, analogue à

celle que démontre expérimentalement M. Claude Bernard, en coupant les filets du grand sympathique au cou.

Quoique aucun résultat n'ait été encore publié et que même les recherches confiées aux savants les plus illustres aient été faites sans éclat, il est permis de dire que depuis un an, des analyses chimiques et microscopiques nombreuses ont eu pour but de rechercher dans les salles de cholériques des hôpitaux de Paris, l'organisme microscopique qui, selon toute probabilité, est l'agent toxique du choléra ; jusqu'à ce jour, ces recherches sont restées infructueuses.

Mais ce mode d'expérimentation est à son début, et nous avons la ferme espérance que, poursuivi avec persévérance, il conduira à une des découvertes les plus utiles.

Parmi les moyens nouveaux qui ont été proposés contre le choléra, il n'y en a que bien peu dont l'emploi ait reçu la sanction du succès. Un des remèdes les plus anciennement employés, le laudanum, est à peu près complétement délaissé. Dans les hôpitaux de Paris, on a employé avec avantage la limonade sulfurique et les vomitifs répétés. Dans l'hôpital spécial, dirigé par M. de Graefe, à Berlin, un grand nombre de cholériques ont été traités par le séjour répété d'une heure dans une étuve sèche à 55 degrés, au sortir de laquelle ils ont été soumis à l'action d'une douche froide. Ce traitement, facile à instituer dans tous les hôpitaux, a donné des résultats très-heureux. Presque tous les malades qui y ont été soumis avant l'invasion des phénomènes asphyctiques, ont été sauvés. Il y a peut-être une grande espérance à fonder sur cette médication, de laquelle tous les autres moyens ont été exclus.

Mais en attendant que ce succès partiel reçoive d'une expérience plus considérale une sanction réelle, il faut malheureusement avouer que, d'une manière générale, le rapport de la mortalité à celui des cas de choléra n'a pas encore suffisamment diminué depuis 1832, pour qu'on puisse proclamer qu'un progrès certain dans le traitement du choléra ait été accompli.

Si l'on éprouve un sentiment pénible en présence des progrès si contestables que la thérapeuthique a faits dans le traitement du choléra, on doit proclamer avec satisfaction que, dans une autre direction, qui, en définitive, a une importance plus considérable encore, l'année qui vient de s'écouler a été féconde en

résultats scientifiques dont l'application ne tardera pas à produire d'immenses bienfaits.

Ici même, nous avons cherché à jeter un peu de lumière sur le problème si obscur qui divisait en deux camps bien distincts le monde médical, au sujet du mode de propagation du choléra. On se rappelle l'acharnement avec lequel l'école française surtout, a soutenu pendant de longues années une thèse absolument opposée à celle que j'ai cherché à défendre.

Il est difficile aujourd'hui de comprendre comment les esprits les plus distingués, comment les corps scientifiques officiellement constitués ont pu résister pendant de si longues années à l'évidence de faits qui ne laissaient aucun doute sur la transmissibilité du choléra.

Une préoccupation exclusive des conséquences que pourrait avoir la reconnaissance d'une telle vérité peut seule être considérée comme une explication d'une erreur aussi prolongée. Quoi qu'il en soit, on peut affirmer qu'aujourd'hui il n'existe plus de dissentiment sur ce fait capital, que l'homme frappé par le choléra devient une source de reproduction de la maladie.

Ce revirement récent de l'opinion des médecins français a été déterminé par le nombre de plus en plus grand de faits éclatants de transmission, dont la relation a rempli depuis un an tous les organes de la presse médicale. Il est impossible ici de reproduire des faits qui se ressemblent tous et qui peuvent être résumés en quelques mots. Importation évidente du choléra dans une localité jusqu'alors exempte du mal, par des personnes arrivant la plupart du temps déjà malades elles-mêmes d'un lieu infecté, et éclosion des premiers cas parmi les parents ou les voisins des premières victimes.

Des expériences de plus en plus nombreuses de reproduction artificielle du choléra sur les animaux, par l'ingestion dans l'estomac, ou par l'injection dans le système circulatoire de matières alvines de cholériques, ont apporté une preuve de plus de la propriété transmissible du choléra et de sa localisation, on ne peut dire exclusive, mais certainement prépondérante dans la sécrétion intestinale.

Il serait injuste de taire les protestations rares mais énergiques qui ont surgi à l'encontre de l'opinion contagioniste. Une des plus récentes, comme aussi des plus considérables, par le nom et

la position qu'occupe son auteur dans la hiérarchie médicale, est due à M. le docteur Cazalas, qui nie d'une manière absolue que l'homme puisse jamais devenir un foyer de propagation ; malheureusement il remplace l'hypothèse légitime qui établit la propriété de la transmissibilité par l'observation de cas nombreux où le choléra procède comme toutes les autres maladies réputées transmissibles, et où l'irradiation se fait du malade à l'homme sain, par une hypothèse absolument dépourvue de bases et dans laquelle une force, que M. Cazalas appelle l'influence cholérique, et dont il place le siége dans l'atmosphère, déterminerait dans l'organisme humain, la perturbation dont la pluralité des médecins voient aujourd'hui la cause dans le voisinage de malades. Il va sans dire que jusqu'à présent M. Cazalas s'est borné à infirmer des faits bien établis, par une simple assertion dénuée d'un commencement de preuves, car cette influence cholérique n'a pu être traduite jusqu'à présent par une manifestation physique sensible.

Il n'est pas sans intérêt de répondre à un des arguments invoqués par M. Cazalas, parce que cet argument est précisément l'un de ceux qui, dans l'esprit public, semble devoir écarter la propriété de la transmissibilité.

Cet argument est la constatation du fait évident, que les relations de toute espèce avec des cholériques sont dans la plupart des cas inoffensives.

La réponse est celle-ci :

Les adversaires de la transmissibilité, et M. Cazalas le fait expressément, placent l'élément toxique dans l'atmosphère, où il serait, ou apporté par les vents, ou dégagé du sol ; pour eux, en un mot, un cas de choléra éclatant dans une localité serait le produit d'un empoisonnement déterminé par une atmosphère toxique. Or, ce qui paraît la chose du monde la plus naturelle à nos adversaires, l'impunité avec laquelle une population peut vivre dans un milieu aussi malfaisant et ne fournir que de rares victimes à l'agent morbide, leur paraît extraordinaire, du moment où l'on déplace cet agent et où on lui assigne pour source le malade lui-même ; dans ce dernier cas, où la source est circonscrite dans son action, il leur semble fatal que toutes les personnes qui se trouvent dans le rayon de cette action, doivent en subir forcément l'influence.

Cette faute de raisonnement est par trop frappante pour qu'il soit nécessaire d'insister.

Ce qui ressort d'une observation non prévenue, c'est que l'élément parfaitement inconnu encore dans sa nature, mais dont le siége est dans l'homme, ne constitue un poison que pour un nombre restreint d'individus, et que son influence, même pour se développer complétement, a besoin d'auxiliaires nombreux qui peuvent se trouver dans l'état de l'atmosphère, dans celui du sol, dans la débilité de l'organisme humain, dans le temps pendant lequel on y est exposé, etc.

En définitive, on peut considérer la discussion sur la transmissibilité du choléra comme close; on n'en saurait donner de preuve plus éclatante qu'en citant quelques-unes des conclusions adoptées par la conférence sanitaire internationale qui s'est réunie à Constantinople, sous l'inspiration du gouvernement français, et dans laquelle ont siégé les plus grandes illustrations médicales de tous les pays de l'Europe.

Dans le programme qui avait été proposé à la commission, figurait la question que voici : « La transmissibilité du choléra est-elle aujourd'hui prouvée par des faits qui n'admettent aucune autre interprétation ? »

La commission a conclu à l'unanimité que la transmissibilité du choléra asiatique est une vérité incontestable prouvée par des faits qui n'admettent aucune autre interprétation.

Une autre question posée était celle-ci :

« Y a-t-il des faits concluants qui forceraient d'admettre que le choléra puisse se propager au loin par certains états de l'atmosphère, par les vents ou par telles autres vicissitudes ou modifications du milieu ambiant ? »

Réponse : Aucun fait n'est venu prouver jusqu'ici que le choléra puisse se propager au loin par l'atmosphère seule, dans quelque condition qu'elle soit, et qu'en outre c'est une loi sans exception que jamais une épidémie de choléra ne s'est propagée d'un point à un autre, dans un temps plus court que celui nécessaire à l'homme pour s'y transporter.

La commission répond à la question suivante : « Dans quelles conditions l'homme emporte-t-il le choléra ? » L'homme atteint de choléra, est, par lui-même, le principal agent propagateur

de cette maladie, et un seul cholérique peut donner lieu au développement d'une épidémie.

La commission est encore amenée à conclure, que certains faits tendent à prouver qu'un seul individu (à plus forte raison plusieurs) venant d'un lieu contaminé et souffrant de diarrhée peut suffire à donner lieu au développement d'une épidémie cholérique ; ou, en d'autres termes, que la diarrhée dite prémonitoire peut transmettre le choléra.

Il semble absolument inutile de poursuivre l'examen de ce rapport; c'est la confirmation la plus complète de l'opinion que j'ai défendue ici même, et c'est une réponse plus que suffisante aux objections que mes recherches ont fait naître.

Les conséquences immédiates d'une notion absolue de la transmissibilité du choléra ont, on le comprend, une importance sociale du premier ordre, et c'est dorénavent aux gouvernements que doit incomber la responsabilité de la persistance et du retour des épidémies de choléra ; car ils sont armés suffisamment par la science, pour opposer à ce fléau social des moyens qui, s'ils ne peuvent dès à présent l'anéantir complétement, sont capables d'en restreindre les cruels effets.

Dr Jules Worms.

III

L'HYGIÈNE DES MATERNITÉS.

A PROPOS DE QUELQUES PUBLICATIONS RÉCENTES[1].

Nous disions l'année dernière, dans un article sur l'hygiène et l'assistance des hôpitaux, que la mortalité des femmes en couche, soignées dans les maternités, était dix ou quinze fois plus considérable que celle des femmes de toute condition qui accouchent

[1] Rapports au comité consultatif d'hygiène et du service médical des hôpitaux près les ministère de l'intérieur. — *Sur la mortalité des femmes en couches dans les hôpitaux et sur les moyens de la diminuer*, par Malgaigne. Août 1844. — *Sur les mesures à prendre pour diminuer la mortalité des*

en dehors de ces établissements. Cette énorme et désolante disproportion a été indiquée pour la première fois il y a neuf ans, par le docteur S. Tarnier. En dépouillant les registres de l'état civil pour l'année 1856, il trouva que, dans le douzième arrondissement (dans lequel à cette époque était placée la Maternité de Paris), 1 femme sur 322 mourait à la suite de l'accouchement, tandis qu'à l'hôpital, à la maternité il en mourait 1 sur 20 !

Ce résultat, qui ne reposait alors que sur des chiffres assez faibles, n'éveilla pas suffisamment l'attention, malgré son extrême importance et fut même considéré comme erroné par un bon nombre de personnes. Il allait cependant recevoir d'éclatantes confirmations. En Angleterre, en Russie, à Vienne, à Berlin, des médecins éminents se mirent à la tâche et vinrent bientôt affirmer, preuves en main, que les choses se passaient dans ces différents pays comme à Paris, c'est-à-dire que l'hôpital exerçait une redoutable influence sur la guérison des femmes en couche.

Depuis lors, ces recherches n'ont plus été interrompues, les matériaux se sont accumulés et M. Le Fort a pu asseoir la démonstration qu'il produit dans son livre sur les maternités, sur un chiffre total de 1,823,093 accouchements se décomposant en deux parts à peu près égales entre les accouchements hospitaliers et les accouchements à domicile. Ces chiffres énormes provenant de presque tous les pays européens atténuent quelque peu l'immense disproportion qui avait été signalée d'abord, mais ils rendent toute négation désormais impossible. Leur résultat total est que les hôpitaux perdent 1 accouchée sur 29, tandis qu'en dehors il ne meurt que 1 accouchée sur 212 ; c'est presque la différence de 1 à 10, et, il faut le répéter, ce sont des résultats atténués, parce qu'ils renferment un grand nombre de très-petits hôpitaux, généralement supérieurs aux grands.

Ces faits sont aujourd'hui acceptés par tout le monde.

femmes en couche, dans les maternités et dans les hôpitaux, par Devergie. Juin 1866.

S. Tarnier. *Mémoire sur l'hygiène des hôpitaux de femmes en couche.* Broch. in-8. 1864.

L. Le Fort. *Des maternités dans les principaux États de l'Europe.* In-4. Vict. Masson. 1866.

Discussion sur l'hygiène des maternités. *Bulletin de la Société impériale de chirurgie*, 1866, p. 110 à 240.

On s'accorde à reconnaître que l'hôpital décuple les risques de mort pour les femmes accouchées, mais on tire des conclusions différentes sur les moyens à employer pour combattre cette douloureuse situation.

Les uns font ce raisonnement simple : puisque l'hôpital est si pernicieux, puisqu'après tant d'efforts son influence délétère semble échapper à tous nos moyens, puisque les accouchées les plus misérables guérissent facilement chez elles, qu'elles semblent même guérir plus aisément et plus communément que les femmes appartenant à une classe plus riche, il faut à tout prix trouver moyen de se passer des maternités.

Nous ne désespérons pas qu'on ne puisse en venir là plus tard, mais actuellement il suffit de répondre que la grande majorité des femmes qui viennent accoucher à l'hôpital n'ont aucun autre asile, n'ont ni parent, ni ami, ni ressources qui leur permettent un autre choix. Il est bon cependant de chercher à restreindre autant que possible le nombre des entrées à l'hôpital. C'est ce qu'a fait M. Devergie, l'auteur du dernier rapport au ministre de l'intérieur.

D'autres constatant l'impossibilité de supprimer immédiatement les maternités, convaincus d'ailleurs que l'hygiène n'y a pas dit son dernier mot, reprennent le problème dans son ensemble. Appréciant dans le plus fin détail les circonstances qui se produisent à l'hôpital, ils ont la prétention de saisir la cause des terribles différences que nous avons signalées, et, une fois saisie, d'arriver à la combattre d'une manière efficace.

C'est cette voie qu'ont suivie MM. Tarnier et Le Fort; c'est aussi celle où nous nous sommes engagés dans l'importante discussion qui a eu lieu, au commencement de 1866, dans le sein de la Société impériale de chirurgie.

Pendant longtemps on a pensé et on s'est plu à dire que l'état social des femmes qui hantent les maternités, leurs misères, leurs privations, leurs chagrins sont la cause des maladies qui les frappent et qui les moissonnent. Aujourd'hui on sait à quoi s'en tenir à cet égard. Cela n'est vrai que pour une part tellement petite qu'il est inutile d'en tenir compte, et la preuve, c'est que cette misère et ces chagrins restent parfaitement inoffensifs en dehors de l'hôpital ; c'est encore que même à l'hôpital il s'écoule souvent des mois, et même des années, pendant lesquels la situation sani-

taire est excellente et la mortalité faible. Il faut donc mettre à l'écart cet ordre de causes qui, malgré leur constance, ont une influence si capricieuse.

C'est en effet une circonstance digne de frapper l'attention que cette extrême variabilité de la mortalité dans les hôpitaux de femmes en couche. Quoique toujours plus élevée que chez les particuliers, elle se rapproche parfois de ce dernier chiffre, puis de temps à autre elle atteint une hauteur formidable. C'est le cinquième, le quart, la moitié de femmes qui succombent. Cette atroce situation est souvent de brève durée, mais il n'est pas très-rare de la voir se prolonger pendant plusieurs années avec des alterntives d'amélioration passagère et d'exacerbation violente.

Ces exacerbations, connues depuis longtemps, sinon appréciées dans leur juste mesure et dans toutes leurs conditions, ont reçu le nom d'épidémies, mot à double sens qui prête à l'équivoque. La maladie épidémique est, dans son sens étymologique, une maladie qui atteint simultanément ou presque simultanément un grand nombre d'individus. Mais à côté du fait on a voulu énoncer la cause, et on a considéré l'épidémie comme engendrée par une influence supérieure à nos moyens d'action ; on a prononcé les mots de génie, vent, souffle épidémique, indiquant une puissance créatrice de la maladie, étrangère au malade et au milieu qu'il occupe.

Cette seconde manière de voir a eu en France de nombreux défenseurs, et elle en compte encore quelques-uns, mais ils deviennent de plus en plus rares. Ils ne peuvent méconnaître l'importance de ce fait capital que les épidémies de maladies puerpérales sévissent presque exclusivement dans les maternités, qu'elles apparaissent très-rarement en même temps dans des maternités voisines ou même dans tous les services d'une même maternité. Ils ne peuvent nier la valeur de ces faits constatés pendant de longues périodes, et accusant l'incontestable influence de l'hôpital.

C'est donc dans l'hôpital qu'il faut chercher la véritable cause des mortalités puerpérales hospitalières. Éloquent interprète des opinions qui ont cours chez nos voisins, M. Le Fort, après avoir visité beaucoup de maternités de l'Europe centrale et de la Russie, a consacré la meilleure et la plus importante partie de son livre à démontrer que la contagion des affections puerpérales est la cause

réelle des épidémies, et par suite de la violente mortalité des maternités.

Sans doute il y a dans ce livre quelques exagérations, quelques explications un peu forcées ; mais qu'importe ? c'est un plaidoyer plutôt qu'un traité, et malgré les circonstances atténuantes, on peut dire que l'avocat a gagné sa cause.

D'ailleurs, il a trouvé des appuis convaincus dans le sein de la Société de chirurgie. M. Tarnier et nous-même avons exposé à ce propos nos observations et nos recherches personnelles ; mais tout en laissant à la contagion la part qu'elle mérite, nous avons dû insister sur un ordre de causes qui avait été trop négligé par notre distingué collègue, M. Le Fort. Nous avons montré que les hôpitaux s'imprègnent de miasmes produits par les femmes en couche, que cette imprégnation ou infection les constitue à l'état de foyers de maladie, et que ces foyers, mal éteints, se raniment à la moindre occasion favorable. En somme, une double cause : l'imprégnation hospitalière et la contagion nous ont paru expliquer les faits étranges et attristants dont les maternités ou, pour mieux dire, le plus grand nombre des maternités (car il y a des exceptions), sont le théâtre.

Au reste, tout le monde est d'accord pour reconnaître que l'entretien d'une maternité salubre est chose infiniment difficile, qu'on ne peut y arriver que par une attention de tous les instants, par un luxe excessif de propreté, par des remises à neuf extrêmement fréquentes.

De là est résultée une manière de faire qui a déjà donné d'excellents résultats, et qui semble devoir être de plus en plus suivie ; c'est ce qu'on a nommé l'alternance ou le roulement des locaux. Dès qu'une salle a été remplie, on la laisse se vider par le départ des malades sans recevoir deux fois de suite des femmes en couche dans le même lit. Cette salle vide est soumise au repos pendant huit à dix jours, les fenêtres sont ouvertes jour et nuit, les literies enlevées pour être renouvelées plus tard, les parquets et les murailles lavées, et au besoin lessivées. C'est, comme on le voit, une continuelle remise à neuf, et cela sans préjudice des attentions les plus grandes, sous tous les rapports, pendant l'occupation des salles. C'est seulement à ce prix qu'on entrevoit la possibilité de résoudre ces difficiles problèmes d'hygiène.

Ces idées commencent d'ailleurs à porter des fruits. Si dans

quelques villes on a persisté à suivre pour la construction des maternités les errements de la routine, nous savons en revanche qu'on est sur le point d'élever à Zurich un hôpital de femmes en couche sur les savantes indications du professeur Breslau, et que la ville de Bordeaux adopte les plans laborieusement étudiés par le le docteur Oré, chirurgien de l'hôpital Saint-André. Nous ne sommes plus dans un siècle où les vérités acquises restent longtemps stériles !

Dr U. Trélat.

IV

INOCULABILITÉ DE LA PHTHISIE PULMONAIRE.

Les affections épidémiques qui de loin en loin et pendant un temps plus ou moins long, moissonnent les populations, doivent certainement exciter au plus haut degré l'attention des savants et de l'opinion publique, afin que tous les efforts soient dirigés vers la recherche des moyens qui pourraient en supprimer la cause ou en restreindre les effets ; mais quelle que soit la légitime frayeur que fait naître la survenance d'une épidémie de choléra, par exemple, elle devrait, dans l'ordre d'importance des intérêts sociaux, céder le pas à la préoccupation que les ravages constants de la phthisie pulmonaire exercent dans le monde entier.

Les tables de statistiques démontrent en effet, que dans le chiffre de la mortalité générale, qui est en moyenne de 22 pour 1,000 habitants et par an, il y a 3 cas de mort par phthisie pulmonaire.

Si, d'autre part, on songe que cette maladie enlève les individus à la fleur de l'âge, on est forcé de reconnaître que nulle cause de destruction sociale ne peut être comparée à celle-là.

Cette grave question mériterait d'être étudiée ici dans son entier développement ; elle le sera sans doute un jour et l'on verra alors ce que déjà la science a pu faire pour déterminer exactement les causes de cette maladie.

On s'était principalement appliqué jusqu'à présent à étudier la

nature anatomique du tubercule qui est, comme on le sait, le principe destructeur, et son mode d'évolution dans l'organisme, et l'on avait acquis à cet égard des connaissances précieuses.

L'année qui vient de s'écouler a été signalée par la découverte d'un fait dont le développement aura, au point de vue de l'intérêt social, une portée infiniment plus considérable, par la lumière toute nouvelle qu'il jette sur un des modes possibles de la propagation de la tuberculisation.

Ici encore on aperçoit ce qu'a de général la vue qui place dans des principes organisés spéciaux et accidentellement introduits dans l'être vivant, une des grandes causes des altérations qui frappent le corps humain.

Certains faits avaient fait soupçonner que la phthisie pulmonaire pouvait être quelquefois contagieuse ; il y aurait une grande imprudence à généraliser cette proposition, mais les faits exceptionnels sont de nature à faire accepter avec moins de surprise les notions acquises sur l'inoculabilité du tubercule. Pour donner une mesure exacte de ce que l'on était habitué à penser de la contagion de la phthisie pulmonaire, on ne saurait mieux faire que de rapporter ici l'opinion d'un des médecins les plus illustres de ce siècle, M. Andral.

« On a sans doute singulièrement exagéré la facilité de la contagion de la phthisie pulmonaire, dit-il. Cependant, est-il sage de la nier absolument et dans tous les cas ? Qui pourrait affirmer, avec des preuves suffisantes à l'appui de son opinion, qu'une maladie qui ne saurait jamais être considérée comme purement locale, et qui, à mesure qu'elle avance, présente l'image d'une sorte d'*infection de toute l'économie*, n'est pas susceptible de se transmettre dans les cas où des contacts très-rapprochés et continuels (comme, par exemple, le coucher dans un même lit) exposent un individu sain à absorber les miasmes qui se dégagent de la muqueuse pulmonaire et de la peau des malades ? Tout ce que je puis dire, sans prétendre décider en dernier ressort une aussi grave question, c'est que, dans le cours de ma pratique, j'ai été plus d'une fois frappé de voir des femmes commencer à présenter les premiers symptômes d'une phthisie pulmonaire peu de temps après que leur mari, dont elles avaient partagé la couche jusqu'au dernier moment, avait succombé à cette maladie ! Une pareille question sera toujours scientifiquement très-difficile à résoudre,

en raison de la fréquence de la phthisie : l'on aura toujours à citer des faits contraires à ceux dont je viens de parler, et pour ces derniers, on pourra facilement en diminuer la valeur en disant que les personnes qui deviennent phthisiques en pareil cas *avaient à le devenir*. Mais pratiquement ces faits ont peut-être assez d'importance pour qu'ils engagent à faire prendre quelques précautions aux personnes qui ont des rapports journaliers avec les phthisiques, surtout dans les derniers temps de leur maladie[1]. »

L'opinion relative à la transmissibilité de la phthisie pulmonaire n'avait pas dépassé ces modestes limites, lorsque, à la fin de l'année dernière, M. Villemin, professeur agrégé au Val-de-Grâce, annonça que le tuburcule était inoculable et fit connaître les expériences qui l'autorisaient à admettre cette propriété nouvelle.

Cette proposition, aussi importante qu'inattendue, n'a pas laissé que de susciter un grand étonnement dans le monde médical, voire même quelque peu d'incrédulité. Un fait d'une pareille nature ne devait pas rester sans contrôle ; chacun a dû se mettre à l'œuvre pour vérifier cette question si capitale. Mais depuis un an bientôt, que M. Villemin a fait sa communication aux sociétés savantes, personne n'est venu infirmer les propositions du professeur agrégé du Val-de-Grâce. Jusqu'ici il n'y a eu que des faits confirmatifs ; M. Villemin lui-même n'en est pas resté à ses premières expériences, il les a étendues et complétées par d'importantes recherches sur la phthisie chez les animaux. Il a fait voir que la tuberculose n'est pas seulement inoculable comme la morve, la syphilis, la variole, la clavelée, etc., mais aussi qu'elle possède, comme ces dernières, le caractère propre aux maladies spécifiques : à savoir qu'elle n'atteint qu'un nombre limité d'espèces zoologiques. En effet, la morve ne s'observe que chez les solipèdes et l'homme ; la syphilis n'a jamais pu être transmise à aucun animal ; la clavelée est exclusive au mouton ; la variole n'a d'analogie par le cowpox et le horsepox, que chez la vache et le cheval. Les autres affections spécifiques de l'homme, telles que la rougeole, la scarlatine, la fièvre typohïde, etc., sont spéciales à notre espèce, cette dernière exceptée, qui se verrait peut-être chez les singes, le cheval et l'âne.

[1] *Annales*. Notes à Laënnec, t. II.

Si la phthisie rentre dans la catégorie des maladies spécifiques, comme son inoculabilité tendrait à le faire croire, elle doit, comme ses congénères, rencontrer beaucoup d'organismes animaux réfractaires à son action. Pour le démontrer, M. Villemin s'est mis à étudier chez les animaux les diverses altérations qui passent pour être des tubercules, et il a reconnu que la plupart de ces lésions sont le résultat de la présence de parasites dans les organes de la respiration ou ailleurs. Les véritables tubercules de la phthisie ne se rencontrent guère que chez l'homme, le singe, la vache et peut-être le lapin. De ces intéressantes recherches il résulte que la phthisie de beaucoup d'animaux est de nature vermineuse et n'a rien de commun avec la véritable phthisie de l'homme, si ce n'est une ressemblance assez grande entre les petites tumeurs parasitaires et les vrais tubercules, ainsi qu'un ensemble de symptômes résultant des troubles respiratoires. C'est donc en vain que l'on essayerait d'inoculer le tubercule à la plupart des animaux. L'on ne doit espérer provoquer expérimentalement la tuberculose que chez les espèces qui sont susceptibles d'offrir la manifestation naturelle de cette affection.

M. Villemin a expérimenté sur un assez grand nombre d'espèces, mais il n'a pu le faire chez les singes et les vaches, qui sont précisément les animaux qu'il faudrait choisir. On comprend aisément que ces sortes d'expériences ne soient pas accessibles à tout le monde. Les sociétés savantes, qui ont des fonds pour tout ce qui peut aider aux progrès de la science, ne tarderont pas, il faut l'espérer, à concourir par ces moyens à élucider une question d'un intérêt social aussi considérable.

Avec les faibles ressources d'un expérimentateur isolé, et indépendamment de l'inoculabilité de la tuberculose, qu'il a pleinement confirmée par de nouvelles expériences, M. Villemin nous semble avoir résolu, ou au moins élucidé plus d'un problème fort intéressant. Il a montré que le lapin et le cochon d'Inde peuvent servir, pour ainsi dire, de réactifs, pour juger de la nature tuberculeuse d'un produit pathologique douteux, car sur 22 lapins inoculés, il n'y en eut que 2 qui ont résisté à l'inoculation.

C'est par l'inoculation qu'il a résolu la question pendante touchant l'identité de la phthisie de la vache et celle de l'homme. D'où il est résulté que ces deux affections sont bien de même nature.

Il a fait voir que la matière tuberculeuse, comme tous les virus, est d'autant plus active qu'elle est dans un état plus frais, car en prenant de cette matière sur des animaux qui venaient d'être sacrifiés à l'instant, il a obtenu des effets d'une intensité et d'une rapidité surprenantes.

Les carnivores (chien, chat) se sont montrés relativement réfractaires à l'inoculation, et ce n'est que par des inoculations successivement répétées qu'ils ont offert quelques tubercules, tandis que le mouton et les oiseaux ont été réfractaires absolument. Ces résultats étaient prévus, car les recherches de M. Villemin avaient établi que le mouton, les carnassiers et les oiseaux ne présentent jamais de vrais tubercules, mais des lésions vermineuses extrêmement fréquentes qui ont fait croire à l'existence d'une véritable phthisie chez les oiseaux, tandis que ce sont seulement des champignons développés dans les sacs aériens et les bronches qui simulent l'altération tuberculeuse.

M. Villemin, injectant dans les bronches de la matière tuberculeuse délayée dans de l'eau, a montré que l'infection tuberculeuse pouvait se faire par l'absorption pulmonaire. Mais, une expérience des plus intéressantes a été faite par cet observateur, pour montrer encore l'analogie qu'il y a entre la phthisie et les autres maladies virulentes et inoculables. Il s'agissait de savoir si, à l'exemple de ces affections, le principe morbide de la tuberculose, se reproduisait au point d'inoculation. Prenant alors de la matière caséeuse, dans un tubercule développé sous la piqûre d'inoculation que portait un autre lapin vivant, inoculé depuis vingt jours, M. Villemin en a inoculé d'autres lapins qui sont devenus tuberculeux après un temps très-court.

Des animaux sacrifiés à des époques différentes ont permis de constater que l'éruption tuberculeuse se fait dans les poumons du dixième ou vingtième jour, et qu'elle peut déjà être très-avancée dans les reins et la rate avant le vingt-huitième jour. D'un autre côté, la phthisie expérimentale a présenté les mêmes allures que la phthisie naturelle de l'homme. Elle a eu le plus souvent une marche chronique, mais elle s'est manifestée quelquefois avec des caractères d'acuïté et de généralisation remarquables; et toujours la loi de M. Louis s'est retrouvée avec constance.

M. Villemin a suivi attentivement l'action de la phthisie sur la parturition et son produit. Elle a eu généralement pour effet l'a-

vortement ou la mort prématurée des petits. Il paraîtrait que cette mort aurait été à peu près constamment causée par l'inanition, car sur le plus grand nombre de ces petits, morts le jour de leur naissance ou deux ou trois jours après, l'estomac a été trouvé vide, ce qui permet de croire à l'insuffisance de la sécrétion lactée des mères. Aucun de ces petits animaux n'avait de tubercules, ce que l'observation faite chez l'homme permettait d'attendre, car il n'y a presque pas d'exemples que des enfants nés de parents phthisiques soient tuberculeux en naissant. M. Villemin n'a pu élever que deux jeunes lapins nés de parents phthisiques ; ils ont vécu cinq mois, mais sont toujours restés chétifs, rabougris avec un gros ventre, et sont morts d'une cause étrangère à la tuberculose, sans présenter aucune trace de tuberculisation.

Tous ces résultats sont assurément fort curieux et destinés à susciter des moyens de prophylaxie capables d'atténuer le redoutable fléau qui moissonne près de 200,000 habitants par an en France. Il était juste et utile de signaler, sans plus tarder, la remarquable découverte faite par M. le docteur Villemin. Nous espérons pouvoir exposer plus tard ici, avec tout le développement que comporte un aussi grave problème, l'histoire pathologique de la tuberculose.

Dr Jules Worms.

GÉOGRAPHIE

LE POLE NORD.

Au commencement du siècle, on croyait chaque zone polaire entièrement couverte d'une calotte continue de glace. L'immense masse solidifiée s'étendait, disait-on, jusqu'au fond de la mer partout où elle ne s'appuyait pas sur des terres émergentes. Un savant distingué [1] montrait dans un livre dont on s'est vivement occupé que l'équilibre du globe doit être périodiquement détruit par l'accumulation des eaux atmosphériques congelées successiment en plus grande abondance à l'une, puis à l'autre extrémité de l'axe terrestre; d'après M. Adhémar, ce déplacement du centre de gravité de la sphère amenait de formidables déluges océaniques séparés par des intervalles d'environ dix mille ans. La base de cette théorie paraissait juste : c'était la variation séculaire des saisons liée au mouvement de la précession des équinoxes. Mais bien que nous reconnaissions qu'une telle influence ait pu modifier le climat des zones glaciales et tempérées, nous avons à élever des objections capables de nous rassurer au sujet des cataclysmes provoqués par l'accumulation des glaces.

Jamais, d'abord, la mer dans les régions froides ne gèle jusqu'au fond. On y trouve, en observant la température à diverses profondeurs, une loi inverse de celle qui se manifeste entre les parallèles de 60° de latitude nord, de 56° de latitude sud, où la chaleur diminue à mesure qu'on descend. Le thermomètre à la surface est rarement inférieur à — 2°,2, point de la congélation de l'eau salée : plus bas un accroissement a lieu dans la température jusqu'à celle qui correspond au maximum de densité. Lorsque la croûte glacée se forme elle n'atteint qu'une faible épaisseur : celle de 5 mètres est rare. L'eau reste liquide au-dessous,

[1] M. Adhémar : *Révolutions de la mer.*

bien qu'à la surface la croûte se refroidisse souvent jusqu'à — 50°. Après l'hiver, à une époque qui n'est pas exactement la même chaque année, les marées, les courants et la chaleur du soleil, faible encore cependant pendant le jour polaire, détruisent la rupture de la plus grande partie de la glace. Des fragments sont alors charriés vers des mers plus chaudes dans lesquelles leur fusion s'opère rapidement. En même temps descendent au sud des montagnes de glace flottantes, fragments de glaciers, transportés vers le rivage par un mouvement incessant.

La débacle annuelle des glaces compense ainsi le transport des eaux atmosphériques par les vents équatoriaux dans la région polaire, et les grands entassements auxquels ces eaux congelées pourraient donner naissance après un certain nombre d'années sur les terres et les mers sont ainsi évités. Pour que cette circonstance se produise, il faut que la mer ne soit pas solidifiée jusqu'au fond, condition dépendante elle-même de la loi qui, entre certaines limites, renverse dans l'eau la série des densités par rapport à celle des températures. Nous pensons que le point de vue des causes finales ne doit pas être tellement banni de la science qu'il ne nous soit pas permis de faire remarquer la simplicité du moyen par lequel la nature sauvegarde ici l'équilibre du globe. Nous ajouterons en outre que, sans cette conservation de l'eau profonde à l'état liquide, toute la vie animale serait éteinte aux plus hautes régions.

Si les régions polaires, suivant l'ancienne supposition, s'étaient trouvées chargées d'énormes protubérances de glace accumulée, l'homme se serait assurément vu obligé de renoncer à y pénétrer. Dans l'état où elles se présentent il a pu les aborder, mais en affrontant les plus grands périls, et l'amour de la science compte bien des martyrs dans la pléiade des courageux navigateurs qui les ont explorées. Les recherches cependant sont poussées aujourd'hui assez loin dans notre hémisphère pour qu'on puisse concevoir l'espérance d'atteindre le pôle lui-même. Notre travail a pour but de rappeler les dernières tentatives qui ont été faites dans cette direction, en examinant les nouveaux projets d'expéditions discutés par les savants et les marins. Nous réservons pour un autre article ce qui concerne la zone glaciale australe, où le problème est moins avancé, bien que de hardies explorations y aient déjà reculé le domaine de l'inconnu.

I

La zone boréale renferme une méditerrannée comprise entre les côtes septentrionales d'Asie et d'Amérique, et recevant de ces continents plusieurs grands fleuves. Ce bassin circulaire, dont le parallèle de 70° de latitude trace à peu près la limite est uni à l'océan Pacifique par le détroit de Behring, et à l'océan Atlantique par les lacunes qui existent entre la côte d'Amérique, le Groenland et le Spitzberg, entre le Spitzberg enfin et la Nouvelle-Zemble, île qui touche presque à l'Asie.

C'est par cette dernière ouverture que les premiers navigateurs pénétrèrent dans la mer Polaire. Ils étaient favorisés par les eaux encore tièdes du Gulfstream, du grand courant qui part du golfe du Mexique pour venir, à travers l'Atlantique, baigner les côtes du Spitzberg et se perdre dans la mer Blanche. L'intérêt qui attirait ces marins n'était pas encore celui de la science. Ils venaient pêcher les baleines, qui chassées sans relâche et devenues plus rares, se retiraient de refuge en refuge vers le nord. Parmi les nations maritimes, la Hollande se signala surtout dans ce genre d'entreprises : de 1660 à 1670 elle n'avait pas moins de cinq cents navires dans les eaux du Spitzberg. Au siècle suivant, on s'aperçut des effets d'une poursuite aussi acharnée ; les baleines diminuèrent et s'éloignèrent davantage encore dans la direction du pôle, trouvant au delà de la banquise de glace des espaces libres où elles pouvaient venir respirer. Cette fuite ne fit que surexciter l'audace des Hollandais, qui souvent, par un vent favorable, mettaient toutes voiles dehors, coupaient la glace nouvellement formée avec la proue de leurs navires, et atteignaient leur proie dans les lacs intérieurs. Le capitaine Cornélis Roule, suivant une ancienne relation, se serait ainsi élevé jusqu'au 85e degré de latitude sur le méridien de la Nouvelle-Zemble.

Les documents les plus nombreux et les plus exacts ont été fournis sur ces parages par le baleinier anglais Scoresby, qui n'a pas fait moins de dix-sept voyages au Spitzberg, mais ne s'est jamais élevé au delà de 81°,30′ de latitude. La relation qu'il a publiée contient une description complète et très-exacte des phénomènes de la mer Glaciale.

En 1773, une expédition commandée par le capitaine Phipps, depuis lord Mulgrave, qui avait été demandée au gouvernement anglais par la Société royale de Londres, se dirigea vers les parages situés à l'ouest du Spitzberg. Elle atteignit en mer la latitude de 80° 48′, où les navires, pris dans les glaces, coururent de grands dangers. Phipps se dégagea avec beaucoup de peine et revint à l'archipel des Sept-Iles. « Là, dit-il, un de mes officiers gravit une haute montagne située sur l'une d'elles et de ce point élevé sa vue embrassait à l'est et au nord-est un espace de trente ou quarante milles de glace unie et continue qui s'étendait jusqu'à l'horizon. » En lisant ce passage cinquante ans plus tard, Edmond Parry, jeune officier qui avait déjà fait plusieurs voyages de découvertes dans l'Amérique boréale, conçut le projet d'atteindre le pôle au moyen de traîneaux sur cette plaine glacée qu'il espérait trouver dans les mêmes parages. L'expédition échoua, mais elle était arrivée presque au 83e degré de latitude. Or, si avec plusieurs auteurs nous ne regardons pas comme authentique l'assertion du baleinier Cornélis Roule, nous pouvons dire que ce point n'a encore été dépassé par aucun explorateur. Rarement aussi furent égalés le courage et l'énergie que déployèrent Parry et ses compagnons. Nous donnerons quelques détails sur ce remarquable voyage, dont la relation a fait connaître une partie jusqu'alors inexplorée de la zone glaciale.

Sorti de la Tamise, le 27 mars 1827, avec la corvette l'*Hécla*, qui portait deux embarcations l'*Enterprize* et l'*Endeavour*, construites avec beaucoup de soin, Parry mouilla dans une anse du Spitzberg, après avoir été retardé par un assez long emprisonnement dans les glaces. Laissant alors le commandement du navire à son lieutenant, il partit avec John Ross, qui depuis s'est acquis un grand renom dans les mers arctiques, le docteur Beverley et le lieutenant Croizier, mort quelques années après dans la malheureuse expédition de Franklin. On toucha à l'île Walden et à la dernière terre connue, l'îlot de la Petite-Table. En arrivant à la banquise on chargea les provisions sur des traîneaux montés sur ces longs patins de bois dont se servent les Lapons pour courir sur la neige, et on se mit à hâler les embarcations. Mais la surface qu'il fallait franchir n'était pas unie comme Parry s'y attendait. Les bancs de glace, accidentés et hérissés de pointes comme les glaciers les plus crevassés de la Suisse, étaient de plus fré-

quemment interrompus par des flaques d'eau, qu'il fallait traverser après y avoir lancé les canots.

On ne fit qu'une lieue vers le nord le premier jour. La pluie tomba le 26 juin et arrêta le voyage ; tout le monde dut se réfugier dans les embarcations, à l'abri de tentes goudronnées. Quatre jours plus tard, quand on vit le soleil, le calcul indiquait seulement un gain de 14 kilomètres. Une neige épaisse tomba, et les monticules de glace ne purent être franchis qu'en y frayant un chemin avec les haches. « Nous étions toujours en avant, dit Parry, le lieutenant Ross et moi. Arrivés à l'extrémité d'un champ de glace, à un endroit difficile, nous montions sur une éminence élevée de 5 à 8 mètres pour dominer les environs. Aucune expression ne peut donner une idée de la tristesse du spectacle qui s'offrait à nous : rien que la glace, le ciel, et encore la vue du ciel nous était souvent cachée par d'épais brouillards. Aussi un glaçon d'une forme étrange, un oiseau qui passait, prenaient l'importance d'un événement : mais lorsque nous apercevions de loin les deux petites chaloupes et nos hommes contournant un monticule avec les traîneaux qu'ils tiraient derrière eux, cette vue nous réjouissait, et dès que leur voix se faisait entendre, il nous semblait que ces solitudes muettes avaient perdu quelque chose de leur horreur. Quand les hommes nous avaient rejoints, nous retournions avec eux vers les chaloupes afin d'aider à les faire avancer ; les officiers s'attelaient avec les matelots. C'est ainsi que nous procédions neuf fois sur dix, et même au début nous étions obligés de faire trois voyages pour transporter tout notre matériel, c'est-à-dire refaire cinq à six fois le même trajet. Le 2 juillet, à midi, le thermomètre marquait 1°,7 à l'ombre et 8°3 au soleil, malgré une brume épaisse ; mais nous étions tellement éblouis par la réflexion de la lumière que nous fûmes obligés de nous arrêter. Sous l'influence de la chaleur la neige s'était ramollie, et nous dûmes nous atteler tous à une embarcation pour la mettre en mouvement. La neige fondue avait donné naissance à de grandes flaques d'eau sans profondeur, à travers lesquelles il fallait traîner les chaloupes avec de l'eau jusqu'aux genoux. Nous n'avancions pas de 100 mètres en une heure..... »

A ces grandes difficultés s'ajoutait un mauvais temps presque continuel. Une forte pluie dura vingt heures sans interruption. Le 13 juillet, on se trouvait à la latitude de 82° 17′, et le lende-

main, après un travail de onze heures, on ne gagna que 3 milles. Voyant toujours au nord les mêmes amas de glaces brisées, Parry commença à craindre de ne jamais rencontrer la banquise unie sur laquelle il avait compté pour réussir. La hauteur du soleil donna, le 17, une latitude de 82° 32′; on put en prendre une autre le 20, et on ne trouva que 82° 37′. A une marche vers le nord, estimée à 22 kilomètres, correspondait un changement en latitude de 9 kilomètres. Le capitaine, cachant ce résultat à l'équipage, continua néanmoins. Le 24, la latitude était de 82° 40′; il fallait se rendre à l'évidence. Avec les plus grands efforts on ne gagnait que la différence entre deux vitesses opposées; les glaces étaient entraînées en masse vers le sud. Le retour fut décidé. Le brave équipage eut un jour de repos bien mérité, pendant lequel les officiers, favorisés par le beau temps, purent faire une série d'intéressantes observations. Le pavillon national resta déployé jusqu'au soir et on se remit en marche à quatre heures. Le 10 août, les explorateurs se retrouvèrent par 81° 40′ au milieu d'une mer plus libre, où le trajet put se faire à l'aviron et ils rallièrent l'*Hécla* le 21.

La France a contribué à l'exploration de cette partie de la mer Arctique par les deux voyages de *la Recherche* au Spitzberg, accomplis en 1838 et 1839. Cette corvette avait à bord une commission scientifique qui s'occupa d'importants travaux relatifs à l'hydrographie, à la physique du globe et à l'histoire naturelle[1]; mais son commandant, retenu par ses instructions, ne put faire aucune tentative pour approcher du pôle, bien qu'au mois d'août de la dernière année, se trouvant à la latitude de 79° 34′, il eût devant lui, du côté du Nord, la mer entièrement dégagée. Depuis quelques années, c'est la Suède qui s'occupe d'accroître les connaissances qu'on possède sur ces parages. Une commission d'officiers de marine et de savants y dresse de nouvelles cartes et jalonne les points qui doivent servir à la mesure d'un arc du méridien.

II

Le passage de l'Atlantique à la mer Polaire par l'ouest du Groënland, a principalement attiré l'attention dans les dernières

[1] Cette campagne se trouve décrite dans le très-intéressant ouvrage *du Spitzberg au Sahara*, de M. Ch. Martins, membre de la commission.

années qui viennent de s'écouler. Aux tentatives si souvent renouvelées, dont le but était de chercher un passage pour aller des baies d'Hudson et de Baffin au détroit de Behring et à l'océan Pacifique, succédèrent les nombreuses expéditions que l'Angleterre, les États-Unis et la Russie envoyèrent à la découverte de John Franklin et de ses compagnons. Chacun se souvient des émotions de cette recherche, qui par tant d'éclatantes découvertes comptera parmi les faits les plus glorieux de notre siècle. Il est regrettable qu'aucun bâtiment portant le pavillon de la France n'y ait pris part, mais notre pays fut cependant représenté par deux de ses officiers de marine, les lieutenants Bellot et de Bray, qui s'associèrent noblement à un élan si général, inspiré par le sentiment de la solidarité. Le premier périt en accomplissant une mission dangereuse au milieu des glaces brisées et agitées par la tempête. Il avait obtenu de lady Franklin la faveur d'embarquer sur le bâtiment qu'elle armait à ses frais pour l'envoyer au secours de son mari, faveur dont il se montra digne autant par ses qualités de marin que par son caractère héroïque.

Mac Clintock ne trouva que quelques traces de l'expédition de Franklin, qui lui révélèrent le plus affreux désastre. Presque au même moment Mac Clure découvrait le passage nord-ouest cherché pendant trois cents ans ; mais il fallut reconnaître que ce passage sera toujours impraticable pour la navigation. Ces recherches eurent toutefois pour résultat de faire connaître dans tous ses détails la plus grande partie du vaste archipel qui s'étend au nord du continent américain. Les explorateurs parcoururent les canaux qui du milieu de ces îles conduisent vers le centre du bassin polaire, soit avec leurs navires, soit sur des traîneaux quand ces passages se trouvaient obstrués par les glaces. Nous résumons, d'après leurs relations, ce qui concerne les abords du bassin polaire central dans cette région.

Parry signalait déjà dans le groupe des îles les plus septentrionales qu'il avait découvertes, celle de Melville comme une des stations privilégiées de la création animale des contrées arctiques, et il attribuait ce développement organique, si rare dans ces déserts glacés, à l'existence probable d'une mer ouverte située vers le nord. Le capitaine Penny put constater ce singulier phénomène lorsqu'au milieu du mois de mai 1850, il arriva en traîneau près de l'île Hamilton, située par 76°2 de latitude.

Jusque-là il avait voyagé sur une étendue entièrement gelée, quand un canal dégagé de glaces se présenta devant lui. Des morses, dit-il, étaient sortis de l'eau et jouaient sur le rivage, pendant qu'une foule d'oiseaux qui ne paraissent d'ordinaire que sous une latitude plus méridionale, volaient de tous côtés. Son navire était pris dans la glace à une grande distance ; il résolut néanmoins d'y retourner et de faire construire un canot susceptible d'être monté sur un traîneau. Le 20 juin il arriva de nouveau avec l'embarcation à l'extrémité nord du canal de Wellington. Mais un grand changement s'était produit pendant sa courte absence. Le canal n'était plus libre ; des vents d'ouest impétueux y poussaient d'énormes montagnes de glace. En vain fit-il encore trois cent milles en avant ; il se trouva dans l'impossibilité de poursuivre la tentative qu'il avait projetée. Le capitaine Belcher en arrivant aux mêmes lieux, en 1853, rencontra des conditions beaucoup plus mauvaises ; il se heurta à une couche de glace solide entièrement déserte, et fut contraint d'abandonner ses navires après avoir fait durant deux étés d'infructueux efforts pour les dégager. L'année suivante Mac Clintock et Mechan exécutèrent de longs voyages en traîneaux autour des îles Parry les plus occidentales, mais n'y rencontrèrent aucun espace libre. Il faut donc conclure que ces parages présentent selon les années et selon certaines saisons tantôt une mer ouverte où la vie s'épanouit, tantôt un désert continu de glace.

Entre la terre de Grinnell et la côte ouest du Groënland s'ouvre le détroit de Smith, par lequel une pointe très-avancée a été faite vers le pôle en 1854. Cette expédition était commandée par le capitaine américain Elisah Kane, qui conduisit son navire dans le havre de Renselaer situé par 78°40′ de latitude, près du village d'Esquimaux Etahs, le plus septentrional du globe. Les glaces le bloquèrent de telle sorte que le dégagement fut impossible, et après un séjour de deux ans il dut affronter les périls d'une traversée vers le sud dans de simples embarcations. Au mois de juin du dernier été, le maître d'équipage Morton partit pour explorer le canal avec le Groënlandais Hans, dans un traîneau tiré par des chiens. Au delà du cap Jakson, qu'ils atteignirent après un trajet très-pénible, ils arrivèrent à un endroit où la glace devint faible et cassante. Les chiens furent pris d'un tremblement subit, et la terreur manifestée par ces animaux sagaces indiquait un danger

peu éloigné. En effet, dès que le brouillard fut dissipé on aperçut au milieu du détroit et à moins de deux milles, un chenal d'eau libre. Des phoques y nageaient et un très-grand nombre d'oiseaux, des eiders, des bernaches et des mouettes volaient dans le voisinage. Le lendemain la bande de glace sur laquelle avançait le traîneau ayant beaucoup diminué de largeur, les voyageurs virent la marée monter rapidement dans le chenal. D'épais glaçons s'y mouvaient aussi vite que le traîneau, les plus petits le dépassaient. Le thermomètre marquait 4 degrés au-dessous de zéro et on voyait quelques plantes sur la terre voisine.

Le canal s'ouvrit ensuite largement, formant une plage en fer à cheval contre laquelle les vagues venaient se briser, et au loin la mer libre paraissait avoir plus de 4,000 milles carrés d'étendue. « Le 21 juin, dit Kane, Morton parvint à atteindre un cap auquel je donnai le nom de cap Constitution, mais il essaya en vain de le tourner, car la mer en battait la base. Faisant de son mieux pour gravir les rochers, il n'arriva qu'à quelques centaines de pieds. Là il fixa à son bâton le drapeau de l'*Antarctic*, une petite relique bien chère qui m'avait suivi dans mes deux voyages polaires. Ce drapeau avait accompagné le commodore Wilkes dans ses découvertes, le long d'un continent antarctique. C'était maintenant son étrange fortune de flotter sur la terre la plus nord, non-seulement de l'Amérique, mais de notre globe. Près de lui étaient nos emblèmes maçonniques de l'équerre et du compas. Morton les laissa flotter une heure et demie au haut du noir rocher qui couvrait de son ombre les eaux blanchissantes que la mer libre de glaces faisait écumer à ses pieds. » Du point élevé où il se trouvait, Morton remarqua au nord 6° ouest, et au-delà des 82° de latitude un pic d'environ 3,000 pieds, tronqué à son sommet et strié verticalement. On lui donna le nom de Parry, et un grand cap qui se montrait un peu plus vers le sud reçut des marins américains celui de notre infortuné camarade Bellot.

En s'appuyant sur la découverte d'une mer libre, un compagnon de Kane, le docteur Hayes, entreprit en 1860 et 1861 dans la même région, une exploration qui produisit une abondante moisson de faits scientifiques intéressants, mais qui n'atteignit pas son but principal, la conquête du pôle. Hayes avait emporté une embarcation spécialement construite pour pouvoir être montée sur des roues et transportée jusqu'aux eaux aperçues au delà

du cap Constitution. Retardé par des coups de vent et fortement endommagé par les montagnes de glace, le navire de Hayes dut hiverner à dix milles au sud de Renselaer. Une maladie se déclara parmi les chiens que les Esquimaux avaient procurés, et leur nombre réduit à cinq fut insuffisant pour la grande expédition projetée.

De nombreuses explorations ont été faites dans le bassin polaire par la Russie, entre la Nouvelle-Zemble et le détroit de Behring, en partant des côtes septentrionales de l'Asie ou des îles voisines. L'amiral Wrangel avait parcouru assez facilement trois mille kilomètres avec des attelages de chiens, en suivant le rivage de l'ouest à l'est; mais dès qu'il voulut s'avancer vers le nord, les difficultés devinrent insurmontables. La banquise n'était pas continue, et sur un grand nombre de points, on arrivait à des espaces libres qui furent désignés sous le nom de *polynias*. Une expédition vers le pôle paraissait de ce côté si peu praticable, que lorsqu'on discuta en 1850 à la Société de géographie de Londres les plans relatifs à des explorations polaires, l'amiral indiqua sa préférence pour la voie du Groënland. La direction nord et sud de ses montagnes permettait, selon lui, de supposer que des voyageurs en traîneaux pourraient s'élever aux hautes latitudes en suivant la côte, sur laquelle des dépôts de provisions seraient faits successivement, et pourtant, à cette époque, le point le plus boréal connu était l'entrée du détroit de Smith, située par 77° 55′.

Les officiers de la marine russe continuent aujourd'hui à explorer le bassin polaire sur la côte de Sibérie. Vers la partie la plus orientale, la mer a été trouvée quelquefois assez dégagée pour qu'on puisse espérer la réussite d'une tentative vers le pôle. Cette indication nous a été donnée par un officier russe, M. Keller, qui a fait partie de la station du Nord, et qui disait exprimer l'opinion de la plupart de ses collègues.

Ce qu'on lit dans les relations des expéditions anglaises, envoyées par le détroit de Behring n'est rien moins que favorable à un semblable projet. Au delà du cap Barrow, le capitaine Mac-Clure voulut en vain s'élever au nord avec l'*Investigator ;* il fut constamment repoussé par une banquise solide et continue, et ramené le long des rivages du continent américain. C'est ainsi qu'il s'engagea peu à peu dans un labyrinthe de glace jusqu'à la

côte de l'île Baring, où il fut obligé d'abandonner son navire. Le capitaine Collinson trouva les mêmes obstacles, et ne put même avancer aussi loin vers l'est que Mac-Clure.

Une importante observation fut faite en 1847 par Kellett, lorsqu'il découvrit l'île Hérald, non loin de la côte asiatique du détroit de Behring. Des terres étendues, hérissées de montagnes aiguës, apparurent au loin, ce qui porta quelques géographes à prolonger le Groënland sous forme d'une presqu'île ou d'un archipel, dont l'île Hérald constituerait le dernier anneau.

Nous avons mentionné à diverses reprises les espaces libres qui existent à certaines époques au milieu des glaces polaires. Ces espaces sont-ils le résultat de la rupture des banquises et de leur écartement par la force des courants qui les entraînent, ou sont-ils occasionnés, comme le pense Maury, par des contre-courants qui, gardant la chaleur des régions méridionales où ils prennent naissance, viennent émerger à la surface des bassins du pôle[1]. De nouvelles observations nous semblent nécessaires pour décider cette question. Remarquons toutefois qu'elle a été abordée théoriquement par le géomètre italien Plana, dans son mémoire analytique relatif au refroidissement des corps célestes[2]. Selon lui, la chaleur moyenne due à l'action du soleil subirait une diminution d'intensité à partir du cercle polaire (latitude 66° 30′) jusqu'au pôle astronomique. Sans doute, cette loi doit être modifiée par la distribution des terres et des mers, ainsi que par la variation des éléments météorologiques, mais il y a aussi lieu de rappeler que les lignes isothermes dont le tracé a pu se faire dans les hautes latitudes de notre hémisphère, montrent par leur courbure qu'il y existe deux pôles de froid et que ces points ne sont pas placés près du pôle astronomique, mais bien dans l'archipel du nord de l'Amérique et dans la Sibérie orientale.

III

La Société de géographie de Londres s'est occupée l'année dernière de nouveaux projets d'exploration de la Méditerranée

[1] *Courants de la mer*, p. 113. Annuaire de 1863.
[2] Mémoires de l'Académie des sciences de Turin, t. XXI

du nord, conçus principalement dans le but d'atteindre le pôle. Elle leur a consacré plusieurs séances, où les plus éminents capitaines du groupe d'officiers qu'on désigne dans la marine anglaise sous le nom d'officiers *arctiques*, ont fait connaître leur opinion, basée sur l'expérience acquise dans les mers polaires. L'un des projets était proposé par le capitaine Gherard Osborn, qui a fait partie de plusieurs expéditions à la recherche de Franklin. Ce projet se rapproche plutôt de celui de l'amiral Wrangel, mentionné plus haut, que de celui du docteur américain Hayes. Le capitaine Osborn n'admet pas que la mer vue par Morton soit constamment libre; il croit que dans la saison hivernale on la trouverait couverte d'une glace solide sur laquelle, au moyen de traîneaux, on parviendrait à atteindre le pôle, distant du cap Constitution de 896 kilomètres seulement. Il rappelle les grands voyages accomplis de cette manière par les derniers explorateurs. L'amiral Mac-Clintock a fait en 1859 2,463 kilomètres d'une seule traite, et en 1853, 2,260 kilomètres en 105 jours. Kennedy et Bellot ont franchi 2,037 kilomètres en 79 jours. Pour aller au pôle et en revenir, la distance est inférieure à celles déjà parcourues, et surtout au trajet de 2,800 kilomètres, que Mac-Clintock ne juge pas au-dessous des forces d'hommes énergiques et résolus.

Le plan de la campagne serait celui-ci : on se servirait de deux bâtiments à hélice montés par 120 hommes, officiers compris. Prête au printemps, l'expédition pourrait arriver au cap York en août. Un navire resterait au cap Isabelle avec 25 hommes, et l'autre, monté par 95 hommes, suivrait la côte occidentale jusqu'au cap Parry. Pendant l'automne le navire du sud se relierait au navire du Nord par des dépôts de provisions, tandis que le navire du Nord ferait la même opération sur le chemin du pôle.

Dans les deux années suivantes, des expéditions avec canots et traîneaux seraient organisées aux époques les plus favorables, et la troisième année les équipages reviendraient soit avec le navire, soit dans des embarcations, si celui-ci était prisonnier dans les glaces.

« Espérons, dit le capitaine Osborn, que les lords de l'Amirauté cèderont à la pression de l'opinion publique, éclairée par les premières sociétés savantes de Londres, la Société royale, celle de géographie, la Société géologique, la Société ethnologique et la

Société linnéenne. L'Amirauté n'hésitera pas à profiter de cette occasion pour réveiller le génie de la marine britannique, engourdie par les loisirs de la paix et les errements de la routine. Des explorations arctiques seront plus efficaces à ce point de vue, que les petites guerres du Japon et de la Chine. La marine militaire de l'Angleterre n'a pas pour unique mission de tirer des coups de canon, la guerre n'est pas l'unique moyen d'acquérir de la gloire ou de former des équipages et des officiers. Les officiers de la marine anglaise ne désirent pas la guerre, mais ils veulent être employés activement et utilement, et quand je demande que 120 hommes soient distraits des 50,000 que la nation fournit annuellement, il me semble qu'on ne saurait me taxer d'être trop exigeant. »

Cette proposition fut vivement appuyée dans l'assemblée par le président, sir Roderik Murchison. Des officiers éprouvés se déclarèrent prêts à retourner dans les régions polaires, en assurant que de nombreux volontaires se présenteraient pour faire partie de l'expédition. Plusieurs membres prirent la parole pour indiquer les grands avantages qui pourraient en résulter pour l'histoire naturelle et la physique du globe. L'ethnographie en particulier réclame une étude plus complète des Esquimaux, qui paraissent présenter une civilisation rudimentaire analogue à celle des anciens habitants des villages lacustres récemment découverts en Suisse.

Une autre projet fut présenté dans la seconde séance par l'éminent géographe allemand, le docteur Petermann, qui en avait fait précédemment le sujet d'une conférence de savants et de marins réunie à Francfort. La route par le Spitzberg lui paraît préférable. De ce côté, dit-il, se trouve la plus large ouverture pour avancer vers le pôle et le chemin à faire est plus court. Cette route n'est que de 2,400 à 2,500 milles, tandis qu'en faisant le tour du Groënland il faut en parcourir 4,000. La mer y est plus libre de glaces par 80° que dans toute autre partie des mers arctiques sur la même latitude. Des chasseurs la fréquentent et les pêcheurs norwégiens y pénètrent quelquefois dans des embarcations non pontées.

Le même savant soutient qu'une mer de l'étendue et de la profondeur de celle qu'on a trouvée au nord du Spitzberg, où Parry ne rencontra pas le fond avec une ligne de sonde de 900 mè-

tres, parcourue par de nombreux courants et exposée à la houle de l'Atlantique, ne doit jamais être entièrement gelée, même en hiver. Elle se présentera plus dégagée que le labyrinthe si souvent fermé dans lequel ont eu lieu les recherches relatives à Franklin. D'ailleurs, si on était arrêté par la banquise, on aurait encore la ressource d'organiser un voyage en traîneau.

L'exemple d'une grande barrière de glace franchie avec succès dans les régions antarctiques est bien propre à encourager la tentative proposée par M. Petermann. Lorsque Cook essaya de s'approcher du pôle austral en 1773 et 1774, il rencontra la banquise vers le 67e degré de latitude et ne put jamais dépasser 71° 10′. « Je crois avec mes officiers, disait-il dans son rapport sur cette expédition, que la glace s'étend jusqu'au pôle, ou bien s'appuie, depuis l'origine, sur une côte inconnue. Les dangers que l'on courrait en voulant explorer ces mers terribles, sont tels que personne, je pense, n'osera jamais s'aventurer plus loin, et que les terres situées au sud du 71e parallèle resteront éternellement vierges. » La barrière de glaces, jugée infranchissable par ce grand navigateur, a cependant été traversée par James Ross, qui peu après l'expédition de Dumont d'Urville, s'avança jusqu'à 78° 10′ de latitude et découvrit aussi plusieurs terres nouvelles. Peut-être une carrière semblable est-elle ouverte à ceux qui s'aventureront dans les mers arctiques situées au nord du Spitzberg.

Il faudrait également deux navires à hélice pour la nouvelle expédition. Ils quitteraient le port le 1er mars, avant l'époque où les glaces des côtes de Sibérie viennent encombrer la mer du Spitzberg. Dans des circonstances favorables, ils auraient alors la chance d'atteindre le pôle en trois ou quatre semaines, et au moment où le jour y commence. Pendant les six mois d'été, les limites occidentales, c'est-à-dire américaines, du bassin arctique pourraient être reconnues et explorées comme l'ont été déjà, par les navigateurs russes, les limites orientales ou asiatiques. En septembre ou octobre, l'un des navires serait renvoyé avec les nouvelles des opérations exécutées, et l'autre, restant pendant l'hiver dans un point aussi rapproché que possible du pôle, entreprendrait une série d'observations scientifiques qui formeraient la clef de voûte du système météorologique de l'hémisphère nord.

Un hivernage au Spitzberg avant la tentative d'exploration polaire permettrait de mieux choisir le moment du départ. Cet

hivernage présente moins de difficultés que ceux des Anglais et des Américains dans l'Amérique boréale, où le climat est beaucoup plus rude. La chasse y procure d'abondantes ressources en rennes et en lièvres arctiques aussi bien qu'en oiseaux, et des végétaux mangeables peuvent être récoltés en certains endroits.

Pour combattre ce plan l'amiral Beicher met en avant sa propre expérience, acquise sous les ordres de sir John Franklin dans les parages du Spitzberg. L'expédition dont il a fait partie et qui était composée du *Trent* et de la *Dorothea* eut lieu en 1818. Elle suivit la banquise qui s'étend entre le Spitzberg et le Groënland, en cherchant vainement un passage vers le nord; il lui fut impossible de dépasser 80° 30′ de latitude. On doit craindre, selon l'amiral, de rencontrer la même barrière infranchissable. Mais si pendant l'hiver la glace est solide et continue au delà des caps Constitution et Parry, il est probable qu'une expédition en traîneaux pourrait atteindre le pôle en suivant cette voie.

L'amiral Belcher pense que l'expédition qui vient d'être mentionnée n'a pas poussé assez loin ses recherches à l'est du Spitzberg. Il croit que Scoresby après avoir trouvé, par 81° 30′ l'espace libre devant lui, aurait atteint le pôle, s'il eût fait route au nord. Quant au plan du capitaine Osborn, la rencontre des mêmes obstacles qui arrêtèrent Parry, sur une mer moitié libre et moitié gelée, en rendrait l'exécution difficile.

L'existence d'une mer ouverte due à la descente continuelle des glaces vers le sud n'est pas admise par l'amiral Collinson. De ce qu'on a trouvé des eaux libres au delà de la banquise antarctique, il ne résulte aucunement qu'il doive en être de même au pôle nord; tout diffère, configuration des continents, climat, régime des vents et des courants, et par suite les arguments de M. Petermann manquent à cet égard de base. Les plus grandes probabilités de réussite se trouvent donc, au contraire, d'après l'amiral Collinson, du côté du plan de M. Osborn.

L'amiral Ommanney prend ensuite la parole pour mettre en relief l'excellente position et les ressources du Spitzberg comme base d'opération. On peut y arriver à coup sûr pendant l'été et maintenir une communication régulière avec l'Angleterre. Dans le cas d'un désastre, il serait probablement facile de rallier ce point, tandis qu'une telle ressource n'existe nullement au détroit de Smith. On oppose en général aux partisans de la route du Spitz-

berg la non-réussite de Parry ; mais il faut considérer qu'elle n'a au fond que la valeur d'une excursion d'été. Les autres expéditions n'étaient pas spécialement destinées au pôle, mais au passage nord-est. Parry se mit en route dans la saison la plus défavorable de l'année pour les voyages en traîneaux, et son bâtiment quitta le Spitzberg au moment qui convenait le mieux pour une tentative dirigée vers le pôle. Dans une lettre qu'il écrivit après son retour, il cherche la cause de son insuccès et recommande, si l'on voulait faire un autre essai, d'envoyer hiverner le navire au Spitzberg et d'entreprendre l'expédition en traîneau entre mars et juin. Il existe un très-bon port au Spitzberg, à Hécla-Cave, par 80° 30′ de latitude. De là on peut faire route vers la mer polaire avec un navire à hélice pourvu de traîneaux et de canots légers. S'il était impossible de pénétrer à travers la banquise avec le navire, il resterait la ressource du voyage en traîneau plus facile ici, selon l'amiral, qu'au nord du Groënland. Il serait toutefois préférable pour une expédition scientifique d'arriver dans la région polaire sur un bâtiment, où sont réunis tous les instruments nécessaires aux observations.

L'illustre savant américain Maury a depuis longtemps demandé une expédition par le détroit de Smith. Pendant qu'il était directeur de l'Observatoire de Washington, il a vivement appuyé celle du docteur Hayes, mais il pense que la tentative par le Spitzberg doit aussi être encouragée. Il donne à la Société d'intéressants détails sur la différence de climat des deux pôles. Le pôle arctique peut être appelé continental, car il s'agit d'un bassin entouré de terres où les vents régnants, qui viennent du sud, sont secs. Les vents généraux des terres australes, ayant au contraire passé sur une grande surface d'eau, sont abondamment chargés de vapeur, ce qui doit donner au pôle sud un climat maritime beaucoup plus doux que celui du pôle boréal.

Un géologue distingué, M. Markham, secrétaire de la Société géographique, présente un mémoire en faveur du plan du capitaine Osborn. Il cherche à démontrer que les obstacles ne sont pas aussi grands qu'on a bien voulu le dire à l'ouest du Groënland. Sur trente-huit expéditions, cinq n'ont point été entravées par les glaces à la latitude de Melville, et les autres ont été arrêtées pendant quelques jours seulement. Celles qui ont perdu plus d'un mois sont au nombre de huit.

C'est pour la route du Spitzberg que se déclare le capitaine Inglefield. Il insiste sur le grand avantage que présente pour l'expédition la navigation à vapeur, inconnue à l'époque des premiers voyages dans la mer polaire. On n'avait alors à employer que la voile, ou le halage à l'aide des cabestans. Deux fois, dit cet officier, je me suis trouvé sur un navire qui a traversé des glaces épaisses de 12 à 14 pieds. On s'exagère le danger de ces masses flottantes, au milieu desquelles un navire pourrait être pris et retenu, en allant du Spitzberg au pôle nord. La banquise sera pénétrée aussi facilement que celle franchie par Ross dans la mer Australe. Il faut considérer que la dépense à faire est peu importante. L'expédition de Parry a coûté 250,000 francs à une époque où tout était plus cher qu'aujourd'hui. Le navire à hélice équipé par lady Franklin n'est revenu qu'à la même somme.

Le capitaine Inglefield estime que six semaines peuvent suffire pour atteindre le pôle. Si, au contraire, on veut passer par le détroit de Smith, il n'est pas douteux que l'expédition devra y rester un hiver, sinon deux, et l'équipage sera peut-être obligé de revenir par les embarcations, en laissant le navire dans les glaces. Un officier très-distingué, que la marine anglaise a eu la douleur de perdre récemment, sir Francis Beaufort, hydrographe en chef de l'Amirauté, penchait pour la route du Spitzberg, et son opinion a certainement beaucoup de poids.

La route du Spitzberg est défendue par deux autres membres de la Société, l'amiral Davis et M. Lamont. Ce dernier, chasseur passionné, qui a séjourné deux étés, avec son yacht, sur les côtes orientales du Spitzberg, pour y poursuivre le renne, l'ours et les amphibies marins, rapporte que les chasseurs de morses norwégiens qu'il a interrogés ne croient pas à une mer libre autour du pôle, et il pense comme eux qu'il faudrait faire une tentative sur la banquise avec des traîneaux attelés de chiens, en évitant de se mettre en route aussi tard que Parry.

La discussion dont nous venons de donner un aperçu est close par le capitaine Allen Young, qui exprime le vœu que l'on tente les deux voies proposées. « M. Markham, dit-il, a raison au sujet de l'exagération des dangers présentés par la route du Groënland. Mais cette route exige deux hivernages, tandis qu'une campagne d'été suffit au Spitzberg. Mac-Clintock, que je considère comme la plus grande autorité arctique, m'a souvent dit que pour attein-

dre le pôle, il faudrait voyager en traîneaux sur la glace pendant l'hiver, quel que fût d'ailleurs le point de départ. Pour moi, comme marin, je préfèrerais un navire et la mer. Quand la glace brisée descend vers le sud et que la surface des eaux cesse de se congeler en juillet et août, il doit se former un espace libre derrière cette glace. Si alors un navire à hélice se trouve près du bord de la banquise entre la Nouvelle-Zemble et le Spitzberg, sur le méridien de 45° E. environ, il pourra choisir une occasion favorable pour y pénétrer. Il se dirigera alors vers le nord en passant entre les bancs de glace, jusqu'à l'espace libre qui doit se trouver derrière eux et dans lequel la route vers le pôle sera facile. »

En résumé, les voix se sont à peu près partagées également dans l'assemblée à l'égard des plans proposés. Cette divergence a pu motiver l'hésitation du gouvernement anglais, qui finira cependant par céder à la demande de ses plus éminents officiers. Nous avons indiqué les dispositions de la marine russe. En Allemagne où la question de l'expédition polaire a passionné les esprits, le gouvernement prussien a soumis un projet d'exploration à l'Académie des sciences de Berlin, en l'invitant à donner son avis sur les chances de réussite et à indiquer les instruments nécessaires ainsi que le nombre des membres de l'Académie qui prendraient part à l'expédition. La Prusse qui ne tardera pas à se créer une grande marine, voudra l'inaugurer par un brillant voyage de découvertes.

En France nous avons encore des officiers qui ont accompagné Dumont d'Urville et Jacquinot dans les mers australes, et y ont acquis la connaissance de la périlleuse navigation des glaces. Ils seraient certainement fiers de recevoir une mission qui renouerait dans notre pays la chaîne des expéditions scientifiques interrompues par des préoccupations exclusivement militaires.

Lady Jane Franklin, la veuve de l'infortuné amiral, a donné un touchant témoignage de sympathie pour la nouvelle exploration polaire dans une lettre adressée au président de la Société de géographie. Revendiquant pour l'Angleterre la part de gloire qu'on peut encore recueillir dans une région où ses marins ont bravé tant de dangers et de fatigues. — « J'ai toujours le même intérêt, dit-elle, pour tout ce qui concerne les entreprises arctiques. D'abord, au triste souvenir du passé, j'ai senti faiblir mon cœur, mais j'ai réagi contre ce sentiment et j'en ai triomphé. Il serait certai-

nement déplorable de voir une puissante objection à toute exploration arctique future dans le sort de mon cher mari et de ses compagnons. Ils ont trouvé la malheureuse fin qui échoit trop souvent aux pionniers des entreprises dangereuses, mais leur triste destinée est unique. Chaque nouvelle expédition part avec des navires meilleurs, mieux équipés, et avec une science plus grande. Les mers polaires ne représentent pas en moyenne plus de catastrophes que les autres mers, et dans l'expédition projetée un désastre semblable à celui de Franklin n'est nullement à craindre. »

En résumant la discussion des projets proposés, nous avons indiqué plusieurs des recherches scientifiques qu'il importerait d'entreprendre dans le bassin polaire. A celles qui concernent la mer ouverte, il faut ajouter l'étude du rôle que jouent les marées et les courants dans la rupture et la débâcle des glaces. Cette étude a été l'objet d'un intéressant mémoire lu aussi à la Société de géographie par M. Jansen, capitaine de frégate de la marine hollandaise, qui a coordonné et discuté les documents recueillis par les navigateurs.

La théorie des aurores électriques, qui éclairent les longues nuits de la zone glaciale, présente encore des lacunes qui ne peuvent être comblées que par des observations faites aux plus hautes latitudes. L'astronomie, le magnétisme terrestre, la météorologie, la physique générale, et toutes les parties de l'histoire naturelle auraient également à profiter de l'expédition projetée, qui ajouterait sans doute d'importantes acquisitions à celles des expéditions précédentes.

De telles entreprises ne sont pas seulement utiles à la science, elles trempent les hommes, elles leur donnent cette mâle énergie qui ne recule devant aucun danger, cette puissance morale qui s'acquiert dans cette lutte salutaire contre les forces de la nature qui, après les avoir fait connaître, enseigne à les dominer. Espérons que l'appel de la Société de géographie n'entraînera pas seulement l'Angleterre, et que dans le champ glorieux qui s'ouvre aux nations maritimes, la France prendra bientôt place au premier rang avec un élan digne de son génie et de ses traditions[1].

F. Zurcher.

Cet article était sous presse lorsque nous avons appris qu'une entreprise scientifique et commerciale dans la région du pôle avait été proposée par

BIBLIOGRAPHIE.

Recherches expérimentales sur le développement du blé par M. J. Isidore Pierre, membre correspondant de l'Institut, professeur à la Faculté des sciences de Caen. — Delagrave et Cie, 1866.

Les travaux publiés par M. J. Pierre sur le développement du Colza [1], avaient déjà montré combien sont importantes les conclusions qu'on peut tirer de l'analyse des différentes parties d'une plante prise aux diverses époques de sa croissance ; mais les résultats qui découlent des études sur le blé sont peut-être encore plus curieux, et justifient le long et fastidieux travail auquel a dû se livrer M. J. Pierre pour les acquérir. — Le blé a été récolté à cinq époques différentes, depuis le 11 mai avant l'épiage jusqu'au 25 juillet, époque de la moisson, et on a étudié seize parties différentes de la plante : les épis, la partie supérieure de la tige comprise entre l'épi et le premier nœud, et successivement cinq feuilles, cinq nœuds et quatre entre-nœuds, dans lesquels on déterminait l'eau, la matière sèche, la matière azotée et les cendres, et dans celle-ci l'acide phosphorique, la potasse, la soude, la chaux, la magnésie, la silice et l'oxyde de fer.

Dans le travail que nous avons consacré dans ce volume à la nutrition des végétaux [2], nous avons longuement entretenu le lecteur des mouvements qui se produisent dans la plante sous l'influence de la diffusion. M. J. Pierre les constate très-nettement dans son important travail. Ainsi, quinze à vingt jours avant la moisson, le poids total de la récolte, prise en masse et dans son ensemble, cesse d'augmenter ; il n'y a plus qu'un travail intérieur, pendant lequel l'épi emprunte aux différentes parties de la tige toute la matière qu'il accumule peu à peu. Ce transport est d'autant mieux accusé que les feuilles au contraire diminuent de poids.

M. Gustave Lambert, hydrographe, ancien élève de l'École polytechnique. Au retour d'un voyage dans ces contrées, M. Lambert a exposé l'objet, le plan et les résultats probables de son expédition dans la dernière séance de la Société de géographie de Paris, dont il est membre. Cette Société, appréciant sa courageuse initiative, lui accorde son patronage scientifique.

[1] *Annales de chimie et de physique*. 3e série, t. LX, p. 129.

[2] Page 138.

La matière azotée surtout, accumulée d'abord dans les feuilles et dans les tiges, s'achemine pendant le dernier mois vers l'épi ; l'acide phosphorique, la potasse et la magnésie suivent le même chemin ; les feuilles et la tige se dépouillent peu à peu pour que la graine prospère et que la reproduction de l'espèce soit assurée.

Le fait capital du transport de tous ces principes d'une partie de la plante à l'autre est encore inexpliqué, et nous ignorons quel mécanisme emploie la nature pour déterminer le phénomène ; est-il impossible de le pénétrer ? nous ne le pensons pas, bien que nous n'ayons encore aucune preuve à l'appui de notre opinion, bien que M. J. Pierre conservant une sage réserve, se contente d'établir ce fait considérable sans en donner la raison. Il nous semble que peut-être on pourrait encore le faire dépendre des lois de la diffusion que nous avons exposées plus haut[1]. On sait qu'il se produit dans les graines ou dans les tubercules où se rencontrent la fécule et l'amidon, au moment de la germination, une matière spéciale, la diastase dont l'effet est de fluidifier ces composés insolubles pour les transformer en dextrine et en glucose solubles ; on sait encore que dans les animaux il existe nombre de liquides capables de déterminer par contact des actions chimiques importantes, dans l'appareil de la digestion. Le suc pancréatique qui emulsionne les matières grasses, la pepsine qui dissout les matières azotées en sont des exemples. Or, pour que la matière azotée, combinée sans doute aux phosphates[2], et particulièrement aux phosphates de potasse et de magnésie, vienne se concentrer dans la graine, il suffit que dans celle-ci prenne naissance une matière capable de coaguler cette matière azotée en la rendant insoluble ; dès lors la matière azotée doit forcément cheminer de tous les points de la tige vers la graine, comme chemine le bicarbonate de chaux ou la silice vers les feuilles où ils deviennent insolubles. On voit que nous supposons ici que la matière azotée est toute formée dans les feuilles, qui nous paraît être le grand laboratoire de la plante, l'organe où se produisent les principes immédiats qui vont ensuite s'accumuler dans la graine ou dans la racine qu'on pourrait considérer comme de simples réceptacles ; nous ne saurions donc partager l'opinion rappelée par M. J. Pierre, et à laquelle il ne semble

[1] Voyez l'article sur la nutrition des végétaux.
[2] Voyez plus haut p. 148.

pas au reste se rallier franchement, à savoir que l'azote cheminerait des tiges vers les graines à l'état de phosphate ammoniaco-magnésien.

Le travail de M. J. Pierre se termine par une note additionnelle intéressante sur la verse des blés. C'est une opinion assez répandue que la silice, qui se rencontre en quantité assez notable dans les pailles de céréales, contribue à leur donner une rigidité suffisante pour qu'elles puissent supporter le poids de leurs épis et échapper à la verse. On tire naturellement de cette première idée la conclusion que les céréales qui versaient, ne renfermaient pas assez de silice et qu'il pouvait être utile de leur en fournir. En examinant la question de près, M. S. Pierre arrive bien vite à reconnaître sur quelles illusions est basée cette prétendue utilité des silicates. Quand on examine séparément les feuilles, les nœuds et la tige des céréales, on reconnaît que la silice est beaucoup plus abondante dans les feuilles que dans les autres organes ; or, cette feuille présente deux parties différentes ; une gaîne allongée qui, partant du nœud correspondant, enveloppe la tige sur une longueur d'environ 10 à 12 centimètres ; cette gaîne doit protéger la portion de tige qu'elle entoure comme le fourreau d'une épée en protége la lame, et à ce point de vue, la silice peut avoir dans la feuille où elle s'accumule, une influence utile. Mais, dans les blés exposés à la verse, le limbe qui surcharge la tige par son poids, a subi un accroissement considérable, tandis que la gaîne protectrice de la tige n'a pas sensiblement varié dans ses dimensions ; l'équilibre naturel peut donc tendre à se rompre par suite de cette luxuriante végétation, malgré la présence d'une plus forte proportion de silice dans la plante : de telle sorte que s'il était possible de rogner les feuilles d'un blé trop fort, il y aurait quelque chance « de prévenir la verse en privant le blé d'une partie de la silice que contiendrait la paille. »

Il est remarquable, au reste, que le blé des terres pauvres ne verse presque jamais, et il est probable que, moins ombragé par ses feuilles, le pied de ces maigres tiges est mieux aéré et par suite moins aqueux, plus tôt dur et plus résistant.

Un jeune ingénieur de l'École centrale, répétiteur à l'École de Grignon du cours que nous avons l'honneur d'y professer, vient d'arriver, au reste, à des résultats analogues dans un très-bon

travail sur la verse des céréales, qui est encore manuscrit. M. Velter a essayé directement sur le blé de printemps, l'action du silicate de potasse et celle du carbonate de la même base; le blé ainsi amendé a parfaitement versé, ainsi que celui des parcelles gardées comme témoins, tandis que la verse a été beaucoup moindre dans une dernière parcelle où le blé avait été éclairci et divisé en petits carrés de $0^{m},30$ de côté ; après la récolte, M. Velter eut l'idée très-ingénieuse de déterminer par l'expérience la résistance à la rupture que présentent les tiges des diverses parcelles cultivées; un faisceau de 10 tiges fut fixé par son extrémité et on détermina sa flexion, d'abord sous le poids de ses épis et ensuite sous celui de poids ajoutés régulièrement jusqu'à la rupture ; celle-ci arriva pour le blé silicaté, quand il porta 77 grammes, tandis que le blé éclairci ne fléchit que sous un poids de 104 grammes ; enfin M. Velter détermina la composition des cendres des diverses pailles : le blé silicaté, le plus facile à rompre, celui qui avait versé le plus complétement, renfermait 70 de silice dans 100 de cendres. tandis que le blé éclairci en renfermait 65. Il ressort donc clairement de ce travail, comme des analyses de M. J. Pierre, que la silice n'a pas sur la verse des blés, l'influence que très-légèrement on lui avait attribuée.

P. P. Dehérain.

TABLE DES MATIÈRES

PREMIÈRE PARTIE

SCIENCES PURES

ASTRONOMIE

La Lune, ses influences sur la terre, et en particulier sur son mouvement de rotation, par M. Amédée Guillemin. 2

La Constitution physique des corps célestes, d'après l'étude de leur lumière, par M. Georges Rayet. 21

Nouvelles petites planètes, par M. Amédée Guillemin. 44

Observation du soleil a l'aide des lentilles argentées. — Nouveau procédé de M. L. Foucault, par M. Georges Bayet. 47

NOTICES NÉCROLOGIQUES

Edmond Bour. 49

Hermann Goldschmidt, par M. Amédée Guillemin. 57

PHYSIQUE

Les Raies telluriques du spectre solaire : M. Janssen, par M. P. P. Dehérain. 61

Nouvelles machines électriques, par M. Georges Rayet. 65

Séparation des gaz au moyen de diaphragmes en caoutchouc : M. Th. Graham, par M. P. P. Dehérain. 74

NOTICE NÉCROLOGIQUE

M. Verdet, par Georges Rayet. 77

CHIMIE

L'isomérie et l'origine des pétroles. — Travaux récents de M. Berthelot, par M. P. P. Dehérain. 84

Un nouveau métal, l'indium, par M. P. P. Dehérain. 94

Bibliographie. — Traité de chimie générale, analytique et agricole, par MM. J. Pelouze et E. Fremy. — Leçons élémentaires de chimie moderne par A. Wurtz, doyen de la faculté de médecine de Paris, par M. P. P. Dehérain. 96

MÉTÉOROLOGIE

La loi des tempêtes, par M. Élie Margollé. 101

GÉOLOGIE

La production et l'épuisement de la houille, le combustible de l'avenir, par M. L. Simonin. 118

BOTANIQUE ET PHYSIQUE VÉGÉTALE

La Nutrition des végétaux, par M. P. P. Dehérain. 138

La génération des cryptogames, zoospores et anthérozoïdes, travaux de M. Thuret, par M. E. Vignes. 167

PHYSIOLOGIE

La physiologie, dans ses rapports avec la science moderne, par M. le docteur Marey. 194

ZOOLOGIE

Le dronte ou dodo, et les autres grands oiseaux éteints des îles Mascareignes, par M. E. Vignes. 214

DEUXIÈME PARTIE

SCIENCES APPLIQUÉES

ART DE L'INGÉNIEUR

Le cable transatlantique, par M. Menu de Saint-Mesmin. 227

Les inondations en France, par M. le baron Ernouf. 259

Le montage hydraulique des matériaux, par M. Schwaeblé. 287

Bibliographie. — Les mines et les mineurs par M. Simonin, la navigation transocéanienne, par M. E. Flachat, par M. P. P. Dehérain. . . 299

ART MILITAIRE

Les armes a feu portatives, par M. P. Schwaeblé. 293

PHYSIQUE APPLIQUÉE

Appareil indicateur du gaz de l'éclairage et du grisou, par M. G. Tissandier. 319
Revue photographique, par M. Ernest Saint-Edme. 321
Reproduction galvanoplastique des gravures en taille-douce, par M. Amédée Guillemin. 332

CHIMIE APPLIQUÉE

La soude artificielle. — Théorie de sa fabrication. — Nouvelles méthodes de production. — Utilisation des résidus, par M. Gaston Tissandier. 337
La nitroglycérine, par M. P. P. Dehérain. 359

MÉDECINE ET HYGIÈNE PUBLIQUE

Trichines et trichinoses, par M. le docteur Jules Worms. 362
Le choléra en 1866, par M. le docteur Jules Worms. 370
Hygiène des maternités, par M. le docteur U. Trélat. 377
Inoculation de la phthisie pulmonaire, par M. le docteur Jules Worms. 382

GÉOGRAPHIE

Le pôle nord, par M. Zurcher. 388

BIBLIOGRAPHIE AGRICOLE

Recherches expérimentales sur le développement du blé, par M. Isidore Pierre, par M. P. P. Dehérain. 407

AUTEURS

CITÉS DANS CET OUVRAGE

Adams, 13.
Adhémar, 388.
Adolphe, 328.
Airy, 20, 230.
Alban, 340-344.
Allard, 328 et suiv.
Alembert (d'), 7, 52
Allen Young, 404.
Anderson, 248.
Andral, 383.
Andrau, 101, 103.
Anfry, 344.
Ansell, 319.
Arago, 2, 50, 58, 302.
Archimède, 136.
Argelander, 35.
Armstrong, 130.
Arson, 63.
Aselli, 196.
Athenas, 340.
Audran, 333.

Babinet, 80.
Balard, 340.
Barbier, 262.
Barker, 31.
Baxendell, 31.
Beaufort (Francis), 404.
Beaulieu (Treuille de),
Becquerel, 235.
Beer (G.), 3.
Belcher, 395.
Bell (Ch.), 196.
Bellot (Lieutenant), 394.
Benson, 349.
Bernard (Claude), 373.
Bernouilly, 7, 233.
Berryman, 241.
Berthelot, 84-96, 139, 153.
Berthollet, 341.
Bertrand, 51, 53.
Berzelius, 345.
Besnier, 370.
Beverley, 391.
Binet, 52.
Biot, 50, 52.
Birmingham, 31.
Blainville (De), 218.
Blondel, 371.
Blyth, 345.
Bodin, 268.
Bonnet, 140.
Bouchardat, 148 et suiv.
Bour (Edmond) 49 et suiv.
Boussingault, 139 et suiv.
Bouvard, 8.
Bradley, 6.
Brandt, 219.
Breguet, 78.
Bray (De), 394.
Breton, 233.
Brett (De), 240.
Brettes (Martin de), 300.
Brewster (Sir David), 61, 63, 327.
Bridet (H.), 112.
Brunel, 238.
Bruyère (La), 258.
Buffon, 136.
Bunsen, 22, 29, 32, 62, 94.

Cahen, 372.
Cahours, 92.
Cahac,
Calvert, 139 et suiv.
Canning, 246, 248.
Capper, 101 et suiv.
Carey-Lea, 328.
Carny, 340.
Cazalas, 375.
César, 267.
Chacornac, 4.
Charcot, 372.
Champion (Maurice), 260.
Chaptal, 285.
Chandler, 31.
Chardonneau, 103.
Charpentier, 336.
Chatterton 232 et suiv.
Chassepot, 309.
Chevallier, 326.
Chevreul, 157, 340.
Cialdini, 247.
Clarke (George), 218.
Clebsch, 52.
Cloëz, 139 et suiv.
Cohn, 182, 185, 187.
Colbert, 270.
Collinson, 398.
Colomb (Christophe), 257.
Comoy, 274, 280 et suiv.
Condorcet, 52.
Conneau, 244.
Cook, 401,
Cornelius van Neck (Jacob), 216.
Correnwinder, 139 et suiv.
Coumes, 261.
Courbebaisse, 31, 35.
Cournot, 55.
Croizier, 391.
Cyrano de Bergerac, 2.

Dampier, 103.
Darcet, 340.
Darcy, 344.
Daubenton, 341.
Daubrée, 93.
Davis, 404.
Davy (Sir H.), 84-93.
Dawes, 57.
Deacon, 354.
Dehérain, 213, 343.
Delamarche, 235, 241 et suiv.
Delaunay, 14 et suiv., 32.
Delpech, 362, 369.
Delvigne, 300.
Descartes, 7.
Devergée, 378.
Didion, 300.
Dizé, 342.
Donati, 26, 41.
Dove, 101, 103.
Doyère, 372,
Dreyse (J. H.), 310.
Dubois, 225 et suiv.
Duboscq, 34, 326.
Dubrunfaut, 347.
Ducom, 112.
Dulong, 359.
Dumas, 337, 340, 343.
Dumont d'Urville, 401.
Dupin (Baron Ch.), 239.
Dupuit, 283.

Edelinck, 333.
Edoux, 288.
Elliott, 242.
Enfield, 308.
Ericson, 134.
Espy, 101 et suiv.
Euler, 7.

Faraday, 71, 78.
Fargubar, 31.
Favre, 354.
Faye, 30.
Field, 248.
Fitz-Roy, 103.
Flachat (Eugène), 239.
Fonvielle (W. de), 8.
Foucault, 34, 47, 70, 204.
Franklin, 103, 230, 240.
Franklin (Sir John), 391.
Franklin (Lady Jane), 394.
Fraunhofer, 26, 33, 61.
Fremy, 96, 162.
Fresnel, 79, 83.
Fritzsche, 352.
Froissart, 294.
Froment, 235 et suiv.
Fuchs, 363.
Fuller (Thomas), 111.

Galilée, 59, 233.
Gasparin (de), 45.
Gastine Renette, 316.
Gaudin, 325.
Gaugain, 65.
Gautier-Berrera, 344.
Gavarret, 236.
Gay-Lussac, 50, 359.

Gerhardt, 97.
Gervais (Paul), 219 et suiv.
Gilbert, 148, 152.
Giroud, 340.
Glaber, 267.
Gladstone, 63.
Glass, 242.
Goltzius, 333.
Gomont, 279.
Gossage, 346.
Graefe (De), 373.
Graham, 74, 76, 158 et suiv., 319.
Grégoire de Tours, 261.
Guillemin, 22.
Guyton, 340.

Halley, 12, 103.
Hansen, 14.
Hardy, 371.
Harry, 217.
Harvey, 196.
Haughton, 208.
Haüy, 341.
Hayes, 396.
Heidenham, 208.
Helmholtz, 82, 202 et suiv.
Herbert (Sir), 216.
Héron, 137.
Herschel (Sir J.), 35, 58.
Heurteloup, 370
Hilton, 362.
Hind, 57.
Hipparque, 6, 15, 30.
Hoffmann, 100.
Hofmeister, 183, 191.
Holtz, 65-71.
Horsburgh, 103.
Huggins, 24, 26, 33, 39, 57.
Huygens, 6, 233.

Ingen-Housz, 140.

Jacobi, 52.
Jacquinot 405.
Janssen, 406.
Joule, 82.

Kane, 395.
Keller, 101 et suiv., 397.
Kellet, 398.
Kepler, 7, 12.
Kirchhoff, 22, 29, 32, 40, 62, 95.
Kolb, 345 et suiv.
Kopp, 343 et suiv., 353 et suiv.
Kotter (A), 295.
Kuchenmunster, 362.
Kuhlmann, 148-352.
Kuhne, 368.

Labrousse (amiral), 237.
Lacroix, 52.
Laënnec, 384.
Lagrange, 52, 54.
Lalande, 58, 325.
Lambert, 407.
Lamé, 82.
Lamont, 404.
Laplace, 7, 12, 15, 41, 44.
Larkins, 329.
Lassell, 57.
Lastner-Clarke, 231 et suiv.
Latham, 218.
Laugier, 325.
Laurent, 97.
Lavergne (Léonce de), 228.
Lawes, 148, 152.
Lebeau, 302.
Leblanc (Nicolas), 337 et suiv.
Lefaucheux, 309.
Lefort, 378.
Legras, 104.
Leguat, 217, 223 et suiv.
Leibnitz, 233.
Lelièvre, 340.
Lenoir, 288.
Lepage, 309.
Leuckart, 362-364.
Le Verrier, 13, 113, 116.
Leszcyc-Suminski, 192.
Lincoln, 252.
Linné, 218.
Lissajous, 204.
Liouville, 51-54.
Longmaid, 352.
Louis, 386.
Louis XI, 258.
Louis XIV, 270.
Louvet, 277.
Luther, 45, 57.

Maclaurin, 7.
Mac-Clintock, 394.
Mac-Clure, 394.
Magendie, 196.
Main (R.), 58.
Mainville (De), 304.
Malherbe, 340.
Malgaigne, 377.
Manceau, 316.
Mandelot, 254.

Mangel du Mesnil, 322.
Mannheim, 53.
Marc-Antoine, 335.
Marcoartu (de), 252, 257.
Marey, 372.
Margueritte, 352.
Marié-Davy, 101 et suiv., 197.
Markham, 405.
Martins, 395.
Masson, 79.
Mathieu, 245.
Mathieu de la Drôme, 2.
Maury, 103, 241 et suiv., 255, 405.
Mayer (Robert), 82.
Mœdler, 3.
Méchan, 395.
Melloni, 8.
Melville, 215, 219 et suiv., 394.
Mesnet, 370.
Mideldorpff, 364.
Miller, 24, 26, 35, 37.
Milne-Edwards (Alphonse), 218 et suiv.
Minié, 300.
Moigno, 100.
Molard, 341.
Mond, 354.
Monestier-Savignat, 261.
Monckhoven, 330 et suiv.
Montaigne, 294.
Morin (Ernest), 256.
Morton, 395.
Morse, 231, 240.
Müller, 369.
Murchison (Sir Roderick), 400.
Muspratt (James), 345.
Musset (Alfred de), 335.
Mulgrave (Lord), 391.

Nairn, 68.
Napoléon III, 272.
Newall, 242.
Newcomen, 137,
Newton, 6, 58.
Niepce de Saint-Victor, 323.
Nægeli, 183, 189.

Ommaney, 402.
Oré, 382.
Orléans (Duc d'), 342.
Osborn, 399.
Oulmont, 371.
Owen, 220, 226.

Paget, 362.
Pagenstecher, 365.
Paradin, 265.
Parker, 341.
Parry (Edmond), 391.
Pauly, 310.
Payen, 340, 241.
Payen (J. B.), 344.
Peligot, 93.
Pelouze, 92, 96, 340, 345 et suiv.
Pelletier, 340.
Penny, 394.
Perrey (A), 8.
Peters, 45.
Petermann, 400.
Petit (Pierre), 262.
Phipps, 391.
Piazzi Smyth, 8.
Piddington, 101 et suiv.
Pierre (Isidore), 407.
Piobert, 300.
Plantagenet (Henri), 268.
Pline, 7.
Poey (Andres), 104.
Poggendorff, 65.
Pogson, 45.
Poisson, 300.
Poitevin, 323.
Poncelet, 198.
Poncharra, 305.
Potain, 371.
Priestley, 140.
Pringsheim, 190 et suiv.

Quételet, 103.

Rabot, 369.
Rankine, 82.
Ramon de Luna, 352.
Ray, 218.
Rayet, 61.
Raynal, 362, 369.
Redfield, 101, 102.
Regnauld, 340.
Reich, 95.
Reid, 101, 102.
Reinhard, 366.
Richard Owen, 362.
Richelieu, 269.
Richter, 95.
Riffault, 56.
Robert, 316.
Rochas (de), 233.
Romme, 102.
Roule (Cornélis), 390.
Ross (Lord), 39, 57, 331.
Ross (Sir John), 391.

Rupprecht, 364.
Rutherfurd, 26, 28.

Sage, 341.
Sainte-Claire Deville, 75.
Saint-Simon, 269.
Salleron, 319.
Sandras, 372.
Samson, 335 et suiv.
Saussure (Th. de), 139 et suiv.
Savery, 137.
Scheurer-Kestner, 345 et suiv.
Schlœsing, 331.
Schmidt, 31.
Schimper, 191.
Schlegel, 224 et suiv.
Scoresby, 390.
Secchi, 26, 40.
Sénarmont (De), 51.
Sennebier, 140.
Simonin, 290.
Shée, 342.
Skaïfe, 329.
Soult, 304.
Steinhall, 331.
Stenham, 241.
Stephan, 46.
Stephenson, 132.
Stewart, 255.
Strickland, 215, 219.
Suminski, 183.

Tabouret, 60.
Tamisier, 300 et suiv.
Tarnier, 378.
Temminck, 218.
Tessan (De), 235.
Thénard, 50, 150, 153, 340, 345.
Thierry, 305.
Thomson, 82.
Thouvenin, 300 et suiv.
Thuret, 107 et suiv.
Tietjen, 45.
Tilghmann, 332.
Townsend, 354.
Tremblay (Du), 133.
Tresca, 235.
Troost, 75.
Turck, 351.
Tycho-Brahé, 30.
Tyndall, 20.

Vaillant (Maréchal), 113.
Vallès, 261, 284.
Van Neck, 217 et suiv.
Van Soldt (Paul), 217.
Vauban, 270.
Vauquelin, 341.
Velter, 410.
Verdet, 77-78.
Vieillard, 316.
Vigny (A. de), 293.
Vigne, 361.
Villain, 294.
Ville (G.), 148 et suiv.
Villemin, 384.
Virchow, 362, 368.
Vougy (de), 113.

Walker, 258, 354.
Warentropp, 334.
Warren de la Rue, 57, 325 et suiv.
Watt, 137.
Weber, 78.
Welden (Walter), 351.
Werthem, 204, 235.
Wheatstone, 240.
Whitehouse, 231.
Whitworth, 308.
Wilde, 65, 71-74.
Wilkes, 396.
Winchester, 318.
Wolf, 23, 33, 164.
Wollaston, 35, 61, 208.
Woodward, 331.
Wothly, 321.
Wrangel (l'amiral), 397.
Wurtz, 96.

Zenker, 362.
Zollner (Gaspard), 293.

PARIS. — IMP. SIMON RAÇON ET COMP., RUE D'ERFURTH, 1.

Behind

XXIX
f
22